

Шевченко К.В., Григоров А.Б., к. техн. н., доцент

ОТРИМАННЯ КОМПОНЕНТУ КОТЕЛЬНОГО ПАЛИВА З ВТОРИННОГО ПОЛІПРОПЛЕНУ

*Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут",
Харків, Україна*

Ключові слова: компонент, термічна деструкція, поліпропілен, показник якості, інформативність, фракціонування, компаундування, сірка.

Вступ. Підвищення ефективності використання та зниження екологічного навантаження на навколишнє середовище відноситься до числа ключових питань при використанні котельного палива – мазуту. В останні роки споживання мазуту в Україні істотно знизилося при суттєвому зростанні (до 35 тис. т/рік) його експорту у Грецію, Туреччину тощо. Слід зауважити, що до мазуту, який експортується, висуваються більш жорсткі обмеження ніж для мазуту, який виробляється у відповідності до [1] і поставляється на внутрішній ринок України. Ці обмеження стосуються, насамперед, мінімізації вмісту сірки у паливі [2, 3].

Сучасні тенденції, які намітилися за останнє десятиріччя у вітчизняній нафтопереробній промисловості такі, що в Україні практично відсутня якісна нафтова сировина для виробництва мазуту, що, у свою чергу, зумовлює низьку, а у деяких випадках не відповідну до вимог [1] його якість. Отже, найперспективнішим шляхом у підвищенні рівня якості, зокрема поліпшення низькотемпературних властивостей та зменшення вмісту сірки мазуту як того, що експортується за кордон, так і того, що споживається в Україні, є додавання до нього певних компонентів, які можна отримати з наявної, дешевої сировини з високим потенціалом властивостей. У якості цієї сировини запропонуємо використовувати тверді побутові відходи (ТПВ), зокрема з поліпропілену (ПП).

Аналіз публікацій

В закордонній технічній літературі на сьогоднішній день представлено ряд робіт, присвячених термо-каталітичній деструктивній переробці ПП у моторні палива, зокрема газоподібні [4], бензин та дизель [5–9]. В роботі [10] з ПП шляхом термохімічної конверсії запропоновано отримувати водень та синтез газ. Відомий метод виробництва мазуту з муніципальних відходів пластмаси шляхом послідовного процесу піролізу та каталітичного риформінгу з використанням комерційних Y-цеоліт та природні цеолітові каталізatori. Результати показують, що типи сировини сильно впливають на вихід продукту та якість рідких та твердих продуктів. Наявність каталізатора знижує рідку фракцію і збільшує газоподібну фракцію. А тверда фракція мала вищу теплотворну здатність ніж біомаса та низькосортне вугілля [11].

Експериментальні дослідження.

Весь процес отримання компонентів котельних палив у лабораторних умовах можна представити у вигляді структурної схеми, що наведена на рис. 1.

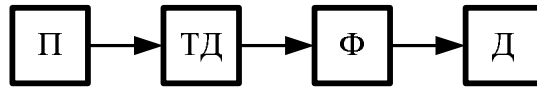


Рисунок 1 – Схема процесу отримання компонентів котельних палив: П – підготовка; ТД – термічна деструкція; Ф – фракціювання; Д – дослідження

За цією схемою першою стадією є підготовка сировини (П), яка включала у себе: подрібнення виробів з ПП, їх промивку та просушку. Далі підготовлена сировина загрузалась у апарат реакторного типу періодичної дії де, власне, при кінцевій температурі нагріву, рівній 395 °С та тиску 0,11 МПа, здійснювалася її термічна деструкція (ТД). На наступній стадії відбувалося фракціювання (Ф) продуктів термічної деструкції з отриманням компоненту з температурами википання від 160–240 °С до 360 °С. Завершальною стадією (Д) процесу отримання компонентів котельних палив було визначення фізико-хімічних показників якості та на базі отриманої інформації – прогнозування напрямку використання отриманого продукту.

Залежності температури початку кипіння компоненту ($t_{пк}$, °С) від густини при 20 °С (ρ^{20} , кг/м³), температури спалаху ($t_{сп}$, °С), температури застигання (t_3 , °С) та кінематичної в'язкості при 20 °С (ν^{20} , мм²/с) представлено на рис. 2, а рівняння регресії для цих залежностей наведено у табл. 1.

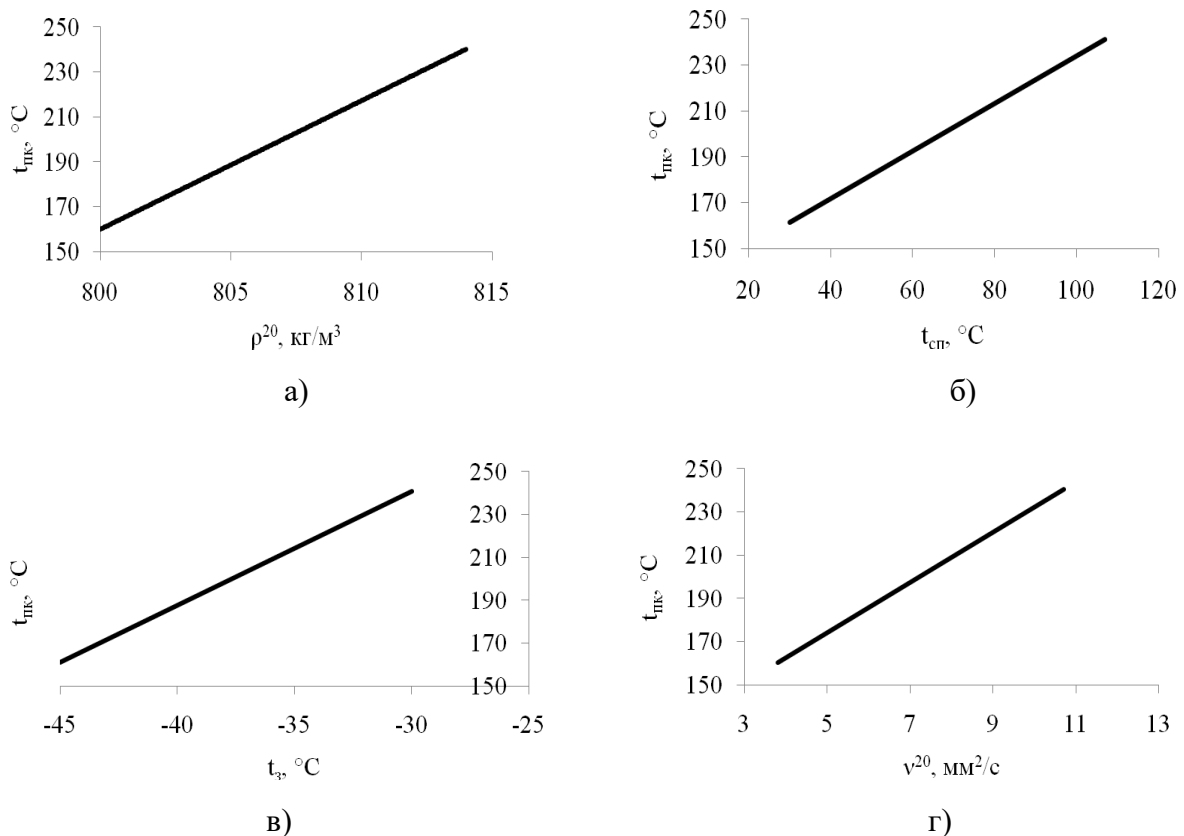


Рисунок 2 – Залежність $t_{пк}$ від показників якості компоненту котельного палива
 а) $t_{пк} = f(\rho^{20})$; б) $t_{пк} = f(t_{сп})$; в) $t_{пк} = f(t_3)$; г) $t_{пк} = f(\nu^{20})$

Представлені залежності свідчать про те, що зі збільшенням $t_{пк}$ компоненту на $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ відбувається збільшення його $t_{сп}$ на $75\text{ }^{\circ}\text{C}$ та v^{20} на $6,91\text{ мм}^2/\text{с}$ з одночасним збільшенням величини t_3 на $15\text{ }^{\circ}\text{C}$, що пов'язано з втратою компонентом легкокиплячих фракцій. При цьому також відбувається і зменшення масового виходу компоненту, що є досить негативним фактором при його промисловому виробництві, бо впливає на підвищення собівартості кінцевого продукту.

Таблиця 1 – Рівняння регресії для отриманих залежностей

№, п/п	Рівняння регресії	R ²
1.	$t_{пк} = 5,7143 \times \rho^{20} - 4411,4$	0,9834
2.	$t_{пк} = 1,0361 \times t_{сп} + 130,24$	0,9973
3.	$t_{пк} = 5,3254 \times t_3 + 400,59$	0,9985
4.	$t_{пк} = 11,575 \times v^{20} + 116,35$	0,9998

За отриманими результатами досліджень для кожного з наведених вище показників якості, розрахуємо коефіцієнт інформативності ($K_{інф}$), який дозволяє вибрати з усіх показників ті, що адекватно відображають зміну властивостей компоненту в залежності від величини $t_{пк}$, $^{\circ}\text{C}$ [12]:

$$K_{інф} = 1 - \frac{X_{\min}}{X_{\max}}, \quad (1)$$

де X_{\max} , X_{\min} – максимальне і мінімальне значення показника якості.

Результати розрахунку величини $K_{інф}$ (див. рис. 3) свідчать про високу інформативність таких показників як $t_{сп}$, v^{20} , t_3 та досить низьку для показника ρ^{20} .

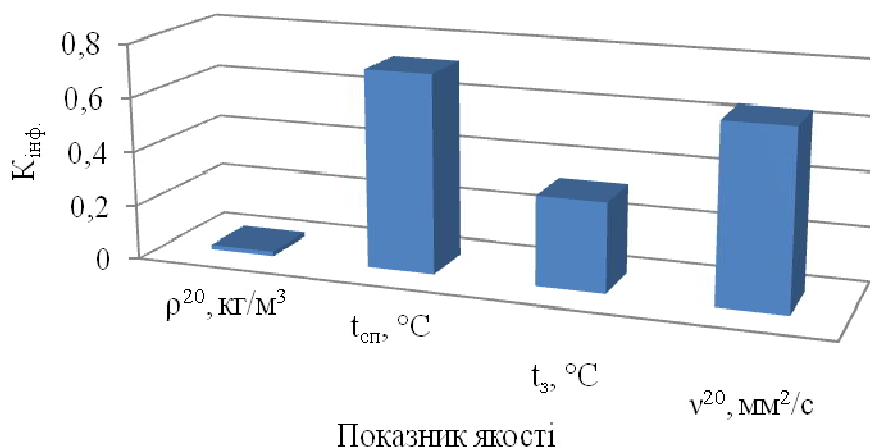


Рисунок 3 – Результати розрахунку величини $K_{інф}$

Зважаючи на це, для подальших досліджень властивостей як отриманого компоненту, так і його компаундів з товарним котельним паливом (мазутом), а також для встановлення раціональної концентрації компоненту у компаунді, слід використовувати показники з високою інформативністю, до яких відносяться $t_{сп}$, v^{20} , t_3 . Також, слід враховувати, що у отриманому компоненті відсутня сірка, що дає можливість отриман-

ня на його основі котельного палива з низьким вмістом сірки, яке сьогодні експортується за кордон.

Висновки. Проведені дослідження показали, що з вторинної полімерної поліпропіленової сировини, що має досить великі запаси на території України та є більш дешевою сировиною у порівнянні з нафтою, шляхом термічної деструкції можна отримати рідкий продукт/компонент, який за визначеними фізико-хімічними показниками можна використовувати для поліпшення властивостей товарного котельного палива, або у некондиційному паливі для його відповідності вимогам нормативно-технічної документації: ДСТУ, ТУ.

Варіюючи температуру початку кипіння цього компоненту, можна досягти певного співвідношення між кінематичною в'язкістю, температурами спалаху та застигання, що дозволить розробити раціональний склад високоякісного котельного палива.

Компаундування котельного палива з отриманим компонентом дозволить отримати продукт з поліпшеними низькотемпературними властивостями та більш низьким вмістом сірки, ніж у вихідного котельного палива, що дозволить підвищити його конкурентоспроможність, відповідати сучасним світовим тенденціям у сфері виробництва котельного палива та зменшити негативний вплив на навколишнє середовище, який пов'язаний з його використанням.

Література

1. ДСТУ 4058-2001 Паливо нафтове. Мазут. Технічні умови. / Український науково-дослідний інститут нафтопереробної промисловості «МАСМА» (УкрНДІНП «МАСМА»). Дата початку дії 01.11.2015. – 10 с.
2. Global Sulfur Regulations and Heating Oil Availability, Allegro Energy Consulting, presented on August 23, 2004.
3. ISO/PAS 23263:2019 Petroleum products – Fuels (class F) – Considerations for fuel suppliers and users regarding marine fuel quality in view of the implementation of maximum 0,50 % sulfur in 2020. Reference number ISO/PAS 23263:2019(E). – 2019. – 14p.
4. Utilization of polymer wastes as transport fuel resources a recent development /M.A. Hazrat et al. // Energy Procedia 61 (2014) 1681 – 1685.
5. Al-Salem S.M. Recycling and recovery routes of plastic solid waste (PSW): A review/ S.M. Al-Salem, P. Lettieri P, J. Baeyens // Waste Management. – 2009. – №29. – pp. 2625-43.
6. Gasoline and Diesel-like fuel production by continuous catalytic pyrolysis of waste polyethylene and polypropylene mixtures over USY zeolite / Chantal Kassargy et al. // Fuel – 2018. – № 224. – pp.764–773.
7. Rachmadena D. Conversion of Polypropylene Plastic Waste Into Liquid Fuel with Catalytic Cracking Process Using Al₂O₃ as Catalyst / D. Rachmadena, M. Faizal, M. Said // International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology. – 2018. – Vol.8. – No. 3. – pp. 694–700.
8. Sarker M. Alternative diesel grade fuel transformed from polypropylene (pp) municipal waste plastic using thermal cracking with fractional column distillation / M. Sarker, M. M. Mamunor, M. Sadikur Rahman, M. Molla // Energy and power engineering. – 2012. – vol. 4. – pp. 165–172.
9. Brajendra K. Sharma. Production, characterization and fuel properties of alternative diesel fuel from pyrolysis of waste plastic grocery bags / B.K. Sharma, B.R. Moserb, K.E.

Vermillionb, Kenneth M.Dollb, Nandakishore Rajagopalan.// Fuel Processing Technology. – 2014. – Volume 122. – pp. 79–90.

10. Sharmina Begum An investigation on thermo chemical conversions of solid waste for energy recovery / S. Begum, M.G. Rasul, D. Akbar // World Academy of Science, Engineering and Technology. – 2012. – №62. – pp. 624–30.

11. Fuel oil production from municipal plastic wastes in sequential pyrolysis and catalytic reforming reactors /M. Syamsiro et al. // Energy Procedia. – 2014. – Volume 47. – pp. 180–188.

12. Сосновский Л.А. К унификации типовых распределений случайных величин / Л.А. Сосновский, Д.Н.Шевченко // Теория вероятностей, случайные процессы, математическая статистика и приложения: материалы международной научной конф., 15–19 сент. 2008 г., г. Минск, 2008. – С. 321–325.

Bibliography (transliterated)

1. DSTU 4058-2001 Palivo naftove. Mazut. Tekhnichni umovi. / Ukraïns'kij naukovо-doslidnij institut naftopererobnoï promislovosti «MASMA» (UkrNDINP «MASMA»). Data pochatku diï 01.11.2015. – 10 p.

2. Global Sulfur Regulations and Heating Oil Availability, Allegro Energy Consulting, presented on August 23, 2004.

3. ISO/PAS 23263:2019 Petroleum products – Fuels (class F) – Considerations for fuel suppliers and users regarding marine fuel quality in view of the implementation of maximum 0,50 % sulfur in 2020. Reference number ISO/PAS 23263:2019(E). – 2019. – 14 p.

4. Utilization of polymer wastes as transport fuel resources a recent development /M.A. Hazrat et al. // Energy Procedia 61 (2014) 1681 – 1685.

5. Al-Salem S.M. Recycling and recovery routes of plastic solid waste (PSW): A review/ S.M. Al-Salem, P. Lettieri P, J. Baeyens // Waste Management. – 2009. – №29. – pp. 2625-43.

6. Gasoline and Diesel-like fuel production by continuous catalytic pyrolysis of waste polyethylene and polypropylene mixtures over USY zeolite / Chantal Kassargy et al. // Fuel – 2018. – № 224. – pp.764–773.

7. Rachmadena D. Conversion of Polypropylene Plastic Waste Into Liquid Fuel with Catalytic Cracking Process Using Al₂O₃ as Catalyst / D. Rachmadena, M. Faizal, M. Said // International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology. – 2018. – Vol.8. – No. 3. – pp. 694–700.

8. Sarker M. Alternative diesel grade fuel transformed from polypropylene (pp) municipal waste plastic using thermal cracking with fractional column distillation / M. Sarker, M. M. Mamunor, M. Sadikur Rahman, M. Molla // Energy and power engineering. – 2012. – vol. 4. – pp. 165–172.

9. Brajendra K. Sharma. Production, characterization and fuel properties of alternative diesel fuel from pyrolysis of waste plastic grocery bags / B.K. Sharma, B.R. Moserb, K.E. Vermillionb, Kenneth M.Dollb, Nandakishore Rajagopalan.// Fuel Processing Technology. – 2014. - Volume 122. – pp. 79–90.

10. Sharmina Begum An investigation on thermo chemical conversions of solid waste for energy recovery / S. Begum, M.G. Rasul, D. Akbar // World Academy of Science, Engineering and Technology. – 2012. – №62. – pp. 624–30.

11. Fuel oil production from municipal plastic wastes in sequential pyrolysis and catalytic reforming reactors /M. Syamsiro et al. // Energy Procedia. – 2014. – Volume 47. – pp. 180–188.

12. Sosnovskij L.A. К унификации типовых распределений случайных величин / L.A. Sosnovskij, D.N.Shevchenko // Teoriya veroyatnostej, sluchajnye processy, matematicheskaya statistika i prilozheniya: materialy mezhdunarodnoj nauchnoj konf., 15–19 sent. 2008 g., g. Minsk, 2008. – P. 321–325.

УДК 662.7

Шевченко К.В., Григоров А.Б.

ОТРИМАННЯ КОМПОНЕНТУ КОТЕЛЬНОГО ПАЛИВА З ВТОРИННОГО ПОЛІПРОПІЛЕНУ

В статті запропоновано підвищувати рівень властивостей котельного палива – мазуту шляхом його компаундування з продуктом, який отримано при термічній деструкції вторинних поліпропіленових матеріалів. Термічна деструкція поліпропіленової сировини здійснювалася у лабораторних умовах, у апараті реакторного типу при кінцевій температурі деструкції 395 °С та тиску 0,11 МПа, при цьому, був отриманий продукт/компонент з температурами википання від 160–240 °С до 360 °С. Дослідження фізико-хімічних показників цього продукту/компоненту показали, що він має поліпшенні низькотемпературні властивості, високу температуру спалаху та характеризується відсутністю сірки. Встановлено, що зі збільшенням температури кипіння продукту/компоненту спостерігається збільшення його в'язкості, температури спалаху та температури застигання, що пов'язано з видаленням з нього легкокиплячих фракцій. Збільшення температури початку кипіння компонента призводить до зменшення його масового виходу, що, у остаточному підсумку, також впливає і на підвищення його собівартості. Значення коефіцієнтів інформативності, розрахованих для показників якості, які використовувались при визначенні якості продукту/компоненту, показали, що найбільш інформативними показниками, використання яких є доцільним при подальших дослідженнях у цьому напрямку, є кінематична в'язкість, температура спалаху та застигання.

Отриманий продукт/компонент можна використовувати або для поліпшення властивостей (низькотемпературних властивостей, зниження сірки) товарного котельного палива, або для доведення некондиційного палива до вимог ДСТУ та ТУ.

Ключові слова: компонент, термічна деструкція, поліпропілен, показник якості, інформативність, фракціонування, компаундування, сірка.

Шевченко К.В., Григоров А.Б.

ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОНЕНТА КОТЕЛЬНОГО ТОПЛИВА ИЗ ВТОРИЧНОГО ПОЛИПРОПИЛЕНА

В статье предложено повышать уровень свойств котельного топлива - мазута путем его компаундирования с продуктом, который получен при термической деструкции вторичных полипропиленовых материалов. Термическая деструкция полипропиленового сырья осуществлялась в лабораторных условиях, в аппарате реакторного типа

при конечной температуре деструкции 395 °С и давлении 0,11 МПа, при этом был получен продукт / компонент с температурами выкипания от 160-240 °С до 360 °С. Исследование физико-химических показателей этого продукта / компонента показали, что он характеризуется улучшенными низкотемпературными свойствами, высокой температурой вспышки и отсутствием серы. Установлено, что с увеличением температуры кипения продукта / компонента наблюдается увеличение его вязкости, температуры вспышки и температуры застывания, что связано с удалением из него легкокипящих фракций. Увеличение температуры начала кипения компонента приводит к уменьшению его массового выхода, что, в конечном итоге, также влияет и на повышение его себестоимости. Значение коэффициентов информативности, рассчитанные для показателей качества, которые использовались при определении качества продукта / компонента, показали, что наиболее информативными показателями, использование которых целесообразно при дальнейших исследованиях в этом направлении – это кинематическая вязкость, температура вспышки и застывания.

Полученный продукт / компонент можно использовать или для улучшения свойств (низкотемпературных свойств, снижение серы) товарного котельного топлива, или для доведения некондиционного топлива до требований ГОСТ и ТУ.

Ключевые слова: компонент, термическая деструкция, полипропилен, показатель качества, информативность, фракционирование, компаундирование, сера.

Chevchenko K.V., Grigorov A.B.

OBTAINING A BOILER FUEL COMPONENT FROM THE SECONDARY POLYPROPYLENE

The article proposes to increase the level of properties of boiler fuel - fuel oil, by its compounding with the product obtained by thermal destruction of secondary polypropylene materials. Thermal destruction of polypropylene raw materials was carried out in the laboratory, in a reactor-type apparatus at a final destruction temperature of 395 °C and a pressure of 0,11 MPa, thus obtaining a product / component with boiling points from 160–240 °C to 360 °C. Studies of the physicochemical parameters of this product / component have shown that it has improved low temperature properties, high flash point and characterized by the absence of sulfur. It has been found that as the boiling point of a product / component increases, its viscosity, flash point and pour point increases due to the removal of low-boiling fractions. Increasing the boiling point of the component leads to a decreasing in its mass yield, which, ultimately, also affects the increasing of its cost. The values of the informative factor calculated for the quality indicators used in determining the quality of the product / component showed that the most informative indicators, the use of which is appropriate in further research in this direction are kinematic viscosity, flash point and solidification.

The obtained product / component can be used either to improve the properties (low temperature properties, sulfur reduction) of commercial boiler fuel, or to bring substandard fuel to the requirements of DSTU and TU.

Key words: component, thermal destruction, polypropylene, quality indicator, informativeness, fractionation, compounding, sulfur.