

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

## **ВЛАСТИВОСТІ КОТЕЛЬНОГО ПАЛИВА, КОМПАУНДОВАНОГО ВУЗЬКИМИ ПАЛИВНИМИ ФРАКЦІЯМИ**

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

**Ключові слова:** паливо, компаундування, мазут, полімерна сировина, паливні фракції, властивості, поліетилен, поліпропілен.

**Вступ.** В сучасних умовах розвитку науки і техніки відбувається щорічне стрімке зростання споживання різних видів палив: моторних, технологічних, котельних. Одночасно з цим, до них висуваються все більш жорсткі вимоги відносно їх якості та впливу продуктів їх згоряння на організм людини та навколишнє середовище. Відповідати цим вимогам при виробництві палива можна, з одного боку за рахунок модернізації технологічного процесу (застосування нових передових технологій і матеріалів), з іншого – шляхом компаундування палива з різними компонентами, які здатні спростувати процедуру його застосування, поліпшувати експлуатаційні властивості та екологічність. Шлях компаундування є найбільш перспективним, особливо для таких країн як Україна, що головним чином, зумовлено відсутністю якісної нафтової сировини та неможливістю тотальної модернізації існуючого виробництва палив.

**Аналіз публікацій.** На нашу думку, найбільш дешевою сировиною для виробництва компонентів палив, на сьогоднішній день є вторинні матеріали [1], зокрема полімери (поліетилен, поліпропілен та полістирол), які в силу своєї стійкості до біологічного розкладання у природних умовах, підлягають обов'язковій утилізації [2].

Враховуючи потенціал позитивних властивостей вторинних полімерних матеріалів (високу молекулярну масу, відсутність сірки, невисоку температуру плавлення та термічної деструкції, водостійкість та стійкість до хімічних реагентів) [3, 4] і значні запаси, що за останнє десятиріччя накопичились у всьому світі [5–7], їх, можна використовувати як сировину або компонент у виробництві різних видів нафтопродуктів.

Сьогодні полімерні відходи пропонується використовувати у виробництві пластичних мастил [8, 9], при формуванні в'язучих матеріалів з поліпшеними експлуатаційними властивостями [10, 11] та для отримання моторного палива [12, 13]. Але при цьому, на нашу думку, питання щодо отримання компаундованого палива, яке складається з фракцій отриманих при переробці полімерної сировини та нафтових фракцій (палив) вивчено не достатньо.

**Лабораторні дослідження.** Для компаундування з товарним котельним паливом, зокрема топковим мазутом марки 100, шляхом термічної деструкції вторинної по-

лімерної сировини, нами було обрано ВПФ з температурними межами википання 300–360 °С, основні показники якості якої, представлено в табл. 1.

ВПФ (300–360 °С) за показники якості, що наведені у табл. 1, окрім температури спалаху ц відкритому тиглі, значно перевищують, вимоги, що висуваються до якості товарного котельного палива, зокрема топкового мазуту марки 100 [14]. Таким чином, згідно з даними, що наведені у табл. 1, ці ВПФ можна застосовувати для отримання компаундованого товарного топкового мазуту з поліпшеними експлуатаційними властивостями.

Отримані ВПФ (300–360 °С) з поліетилену низького тиску (ПЕНТ) та поліпропілену (ПП) є більш прозорими та світлішими рідинами, у порівнянні з товарним топковим мазутом марки 100, а їх компаунди за кольором є близькими до мазуту 100. Таким чином, ВПФ (300–360 °С) як і будь-які інші вуглеводневі фракції не псують і не поліпшують колір компаундованого котельного палива.

Таблиця 1 – Середні значення основних показників якості ВПФ 300–360 °С

№ п/п	Найменування показника	Одиниці виміру	Числові значення для полімерної сировини	
			ПЕНТ	ПП
1.	Густина при 20 °С	кг/м <sup>3</sup>	806	814
2.	В'язкість умовна при 80 °С	град. ум.	0,84	0,91
3.	Температура спалаху в відкритому тиглі	°С	64	75
4.	Температура застигання	°С	5	-6
5.	Вміст сірки	% мас.	Відсутня	
6.	Масова частка води	%	Відсутня	
7.	Теплота згоряння у перерахунку на сухе паливо	кДж/кг	44854	45388
8.	Масова частка механічних домішок	%	Відсутні	
9.	Вміст водорозчинних кислот та лугів	-	Відсутні	

Результати зміни фізико-хімічних показників якості топкового мазуту марки 100 в залежності від вмісту (w,% мас.) ВПФ (300–360 °С) з ПЕНТ та ПП, представлено на рис. 1–6.

Зі збільшенням вмісту ВПФ у компаундованому котельному паливі від 0 до 30 % мас. відбувається поліпшення значень його показників якості (зниження значень  $\rho^{20}$  (до 865 (873) кг/м<sup>3</sup>),  $\nu^{40}$  (до 2,50 (2,63) град. ум.),  $t_{заст}$  (до 8 (13) °С),  $x_s$  (до 0,17 % мас.) та підвищується  $Q^p$  (до 43606 (43850) кДж/кг)), за винятком показника  $t_{сп}$ .

Значення показника  $t_{сп}$  зі збільшенням вмісту від 0 до 30 % мас. у мазуті ВПФ (300–360 °С) поступово знижується аж до 114(127) °С, що є негативним моментом, який призводить до підвищення пожежонебезпеки мазуту при його використанні, збе-

ріганні, перекачування і транспортуванні [15]. Але, при цьому, значення показника  $t_{сп}$ , згідно вимог [14], знаходяться у допустимих межах.

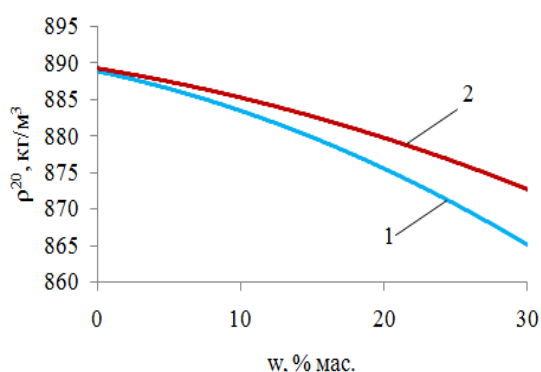


Рисунок 1 – Залежність  $\rho^{20}$  від  $w$ : 1 - для ВПФ з ПЕНТ; 2 - для ВПФ з ПП

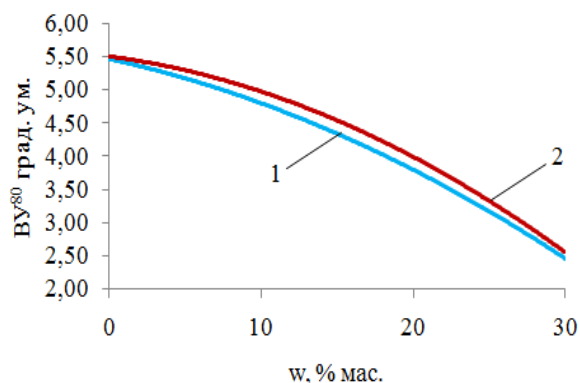


Рисунок 2 – Залежність  $ВУ^{80}$  від  $w$ : 1 - для ВПФ з ПЕНТ; 2 - для ВПФ з ПП

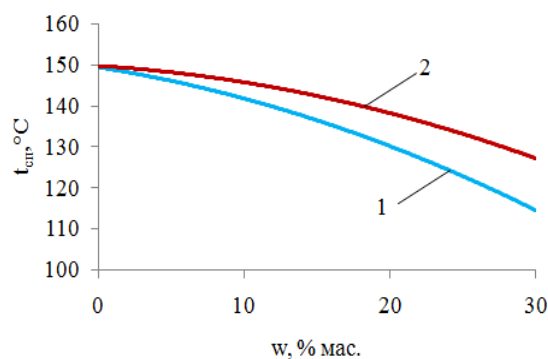


Рисунок 3 – Залежність  $t_{сп}$  від  $w$ : 1 - для ВПФ з ПЕНТ; 2 - для ВПФ з ПП

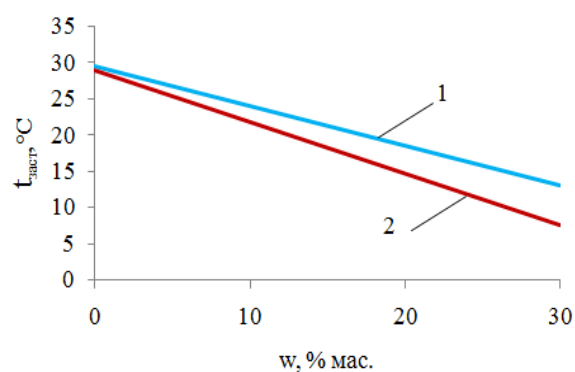


Рисунок 4 – Залежність  $t_{заст}$  від  $w$ : 1 - для ВПФ з ПЕНТ; 2 - для ВПФ з ПП

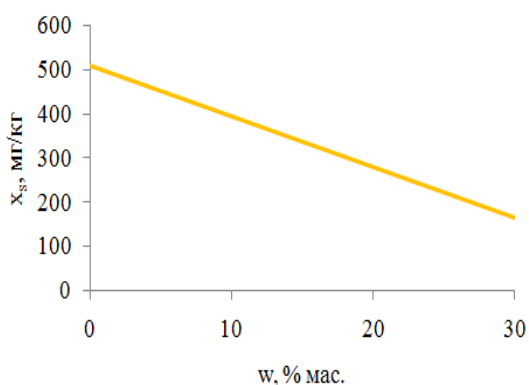


Рисунок 5 – Залежність  $x_s$  від  $w$ : 1 - для ВПФ з ПЕНТ; 2 - для ВПФ з ПП

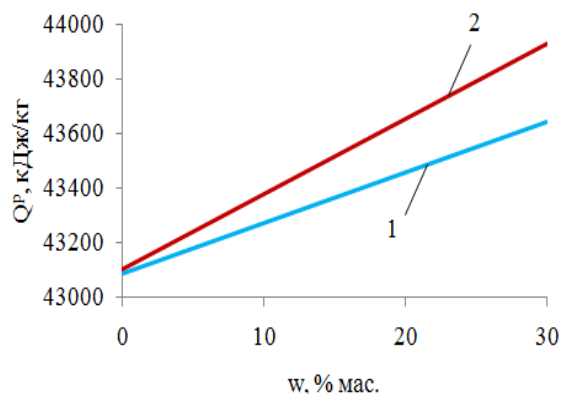


Рисунок 6 – Залежність  $Q^p$  від  $w$ : 1 - для ВПФ з ПЕНТ; 2 - для ВПФ з ПП

**Висновки.** Використання вторинної полімерної сировини у виробництві різних видів палив з одного боку – дозволить частково вирішити проблему засмічення сільськогосподарських земель, з іншого – отримувати продукти з високим рівнем якості, що відповідають усім вимогам існуючих стандартів. З метою отримання котельного палива

з поліпшеними експлуатаційними властивостями на базі мазуту марки 100, можна використовувати ВПФ (300–360 °C) у кількості до 30 % мас.

Література

1. Luiz H. Maccarini Vefago. Recycling concepts and the index of recyclability for building materials / Luiz H. Maccarini Vefago, Jaume Avellaneda // Resources, Conservation and Recycling. – 2013. – Vol. 72. – Pages 127–135.
2. Degnan T. Waste–plastic processing provides global challenges and opportunities / T. Degnan, S.L. Shinde // MRS Bull. – 2019. – № 44(6). – Pages 436–437.
3. Van Krevelen D.W. Properties of Polymers (Fourth Edition) / D.W. Van Krevelen, K. Te Nijenhuis. Elsevier Science, 2009. – Page 956.
4. Mar James E. Mark Physical Properties of Polymers Handbook /James E. Mark. Springer; 2nd ed., 2007. – Page 1096.
5. Plastic waste inputs from land into the ocean / J. R. Jambeck, R. Geyer, C. Wilcox, T. R. Siegler, M. Perryman, A. Andrady, R. Narayan, K. L. Law // Science. – 2015. –№ 347. – Pages 768–771.
6. Hoornweg D. Environment: Waste production must peak this century / D. Hoornweg, P. Bhada–Tata, C. Kennedy // Nature. – 2013. – № 502. – Pages 615–617.
7. Barnes D.K.A. Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments / D.K.A. Barnes, F. Galgani, R. C. Thompson, M. Barlaz, // Philos. Trans. R. Soc. – 2009. – № 364.– Pages 1985–1998.
8. Grigorov Andrey. The use of processed polyethylene products in the manufacture of plastic lubricants / Andrey Grigorov, Oleg Zelenskii // Petroleum & Coal journal. – 2019. – Volume 61. – Issue 1. – pp. 21–24.
9. Andrey Grigorov. Possibility of producing plastic lubricants by thermal destruction of solid domestic wastes / Andrey Grigorov, Oleg Zelenskii, Alexey Sytnik, Ivan Nahliuk //Petroleum & Coal journal. – 2020. – Volume 62. – Issue 1. – pp. 195–199.
10. Emanuele Toraldo. Effects of polymer additives on bituminous mixtures / Emanuele Toraldo, Edoardo Mariani // Construction and Building Materials. – 2014. – Volume 65. – pp. 38–42.
11. Jiqing Zhu. Polymer modification of bitumen: Advances and challenges / Jiqing Zhu, Björn Birgisson, Niki Kringos // European Polymer Journal. – 2014. – Volume 54. – pp. 18–38.
12. Rachmadena D. Conversion of Polypropylene Plastic Waste Into Liquid Fuel with Catalytic Cracking Process Using Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> as Catalyst / D. Rachmadena, M. Faizal, M. Said // International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology. – 2018. – Vol.8. – No. 3. – Pages 694–700.
13. 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. – Pages 165–172.

14. ДСТУ 4058–2001 «Паливо нафтове. Мазут. Технічні умови». – К.: УкрНДІП «МАСМА», 2015. – 10 с.

15. Боровик С.И. Пожарная безопасность: учебное пособие к практическим занятиям / С.И. Боровик. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2016. – 160 с.

УДК 665.775.4.

Bibliography (transliterated)

1. Luiz H. Maccarini Vefago. Recycling concepts and the index of recyclability for building materials / Luiz H. Maccarini Vefago, Jaime Avellaneda // Resources, Conservation and Recycling. – 2013. – Vol. 72. – Pages 127–135.

2. Degnan T. Waste–plastic processing provides global challenges and opportunities / T. Degnan, S.L. Shinde // MRS Bull. – 2019. – № 44(6). – Pages 436–437.

3. Van Krevelen D.W. Properties of Polymers (Fourth Edition) / D.W. Van Krevelen, K. Te Nijenhuis. Elsevier Science, 2009. – Page 956.

4. Mar James E. Mark Physical Properties of Polymers Handbook /James E. Mark. Springer; 2nd ed., 2007. – Page 1096.

5. Plastic waste inputs from land into the ocean / J. R. Jambeck, R. Geyer, C. Wilcox, T. R. Siegler, M. Perryman, A. Andrady, R. Narayan, K. L. Law // Science. – 2015. –№ 347. – Pages 768–771.

6. Hoornweg D. Environment: Waste production must peak this century / D. Hoornweg, P. Bhada–Tata, C. Kennedy // Nature. – 2013. – № 502. – Pages 615–617.

7. Barnes D.K.A. Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments / D.K.A. Barnes, F. Galgani, R. C. Thompson, M. Barlaz, // Philos. Trans. R. Soc. – 2009. – № 364.– Pages 1985–1998.

8. Grigorov Andrey. The use of processed polyethylene products in the manufacture of plastic lubricants / Andrey Grigorov, Oleg Zelenskii // Petroleum & Coal journal. – 2019. – Volume 61. – Issue 1. – pp. 21–24.

9. Andrey Grigorov. Possibility of producing plastic lubricants by thermal destruction of solid domestic wastes / Andrey Grigorov, Oleg Zelenskii, Alexey Sytnik, Ivan Nahliuk //Petroleum & Coal journal. – 2020. – Volume 62. – Issue 1. – pp. 195–199.

10. Emanuele Toraldo. Effects of polymer additives on bituminous mixtures / Emanuele Toraldo, Edoardo Mariani // Construction and Building Materials. – 2014. – Volume 65. – pp. 38–42.

11. Jiqing Zhu. Polymer modification of bitumen: Advances and challenges / Jiqing Zhu, Björn Birgisson, Niki Kringos // European Polymer Journal. – 2014. – Volume 54. – pp. 18–38.

12. Rachmadena D. Conversion of Polypropylene Plastic Waste Into Liquid Fuel with Catalytic Cracking Process Using Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> as Catalyst / D. Rachmadena, M. Faizal, M. Said // International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology. – 2018. – Vol.8. – No. 3. – Pages 694–700.

13. 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. – Pages 165–172.

14. DSTU 4058–2001 «Palivo naftove. Mazut. Tekhnichni umovi». – K.: UkrN-DINP «MASMA», 2015. – 10 p.

15. Borovik S.I. Pozharnaya bezopasnost`: uchebnoe posobie k prakticheskim zanatyiam / S.I. Borovik. – Chelyabinsk: Izdatel'skij cenztr YuUrGU, 2016. – 160 p.

УДК 665.775.4.

Шевченко К.В., Григоров А.Б., Сінкевич І.В.

### ВЛАСТИВОСТІ КОТЕЛЬНОГО ПАЛИВА, КОМПАУНДОВАНОГО ВУЗЬКИМИ ПАЛИВНИМИ ФРАКЦІЯМИ

З метою поліпшення експлуатаційних властивостей, зокрема в'язкісно-температурних, котельного палива запропоновано їх компаундування з вузькими паливними фракціями, отриманими шляхом термічної деструкції вторинної полімерної сировини (поліетилену низького тиску та поліпропілену).

При компаундуванні мазуту марки 100 з вузькими паливними фракціями, відбувається зниження значень густини до 865 (873) кг/м<sup>3</sup>, умовної в'язкості до 2,50 (2,63) град. ум., температури застигання до 8 (13) °С, вмісту сірки до 0,17 % мас. та підвищується нижча теплота згоряння до 43606 (43850) кДж/кг. При цьому, відбувається поступове зниження величини показника температури спалаху до 114(127) °С.

Таке зниження є негативним моментом, який призводить до підвищення пожежонебезпеки мазуту при його використанні, зберіганні, перекачування і транспортуванні. Але, при цьому, значення показника температури спалаху, згідно вимог нормативної документації, знаходяться у допустимих межах. Тобто, значенням саме цього показника можна обмежувати вміст у мазуті вузьких паливних фракцій.

Визначено, що раціональна концентрація вузьких паливних фракцій у складі топкового мазуту марки 100, знаходиться у межах до 30% мас. У цих межах спостерігається припустиме зниження значень температури спалаху – показника, що характеризує пожежонебезпеку мазуту при його використанні, зберіганні, перекачування і транспортуванні на фоні поліпшення інших експлуатаційних властивостей мазуту.

Виробництво запропонованого компаундованого котельного палива з одного боку дозволяє розширити сировинну базу процесу, шляхом залучення до виробничого процесу вторинну полімерну сировину – тверді побутові відходи, що підлягають обов'язковій утилізації, з іншого – задовольнити існуючий попит на котельне паливо, за рахунок підвищення обсягів його виробництва.

**Ключові слова:** паливо, компаундування, мазут, полімерна сировина, паливні фракції, властивості, поліетилен, поліпропілен.

Шевченко К.В., Григоров А.Б., Синкевич И.В.

### **СВОЙСТВА КОТЕЛЬНОГО ТОПЛИВА, КОМПАУНДОВАНОГО УЗКИМИ ТОПЛИВНЫМИ ФРАКЦИЯМИ**

С целью улучшения эксплуатационных свойств, в частности вязкостно-температурных, котельного топлива предложено их компаундирования с узкими топливными фракциями, полученными путем термической деструкции полимерного сырья (полиэтилена низкого давления и полипропилена).

При компаундировании мазута марки 100 с узкими топливными фракциями, происходит снижение его плотности до 865 (873) кг/м<sup>3</sup>, вязкости до 2,50 (2,63) град. усл., температуры застывания до 8 (13) °С, содержания серы до 0,17 % масс., и повышается низшая теплота сгорания к 43606 (43850) кДж /кг. При этом, величина показателя его температуры вспышки, постепенно снижается до 114 (127) °С.

Такое снижение является отрицательным моментом, и приводит к повышению пожароопасности мазута при его использовании, хранении, перекачки и транспортирования. Но, при этом значение показателя температуры вспышки, согласно требованиям нормативной документации, находится в допустимых пределах. То есть, значением именно этого показателя можно ограничивать содержание в мазуте узких топливных фракций.

Определено, что рациональная концентрация узких топливных фракций в составе топочного мазута марки 100, находится в пределах до 30% масс. В этих пределах наблюдается допустимое снижение значений температуры вспышки - показателя, характеризующего пожароопасность мазута при его использовании, хранении, перекачке и транспортировке на фоне улучшения других эксплуатационных свойств мазута.

Производство предложенного компаундованого котельного топлива с одной стороны позволяет расширить сырьевую базу процесса, путем привлечения к производственному процессу полимерного сырья - твердые бытовые отходы, подлежат обязательной утилизации, с другой - удовлетворить существующий спрос на котельное топливо, за счет повышения объемов его производства.

**Ключевые слова:** топливо, компаундирование, мазут, полимерное сырье, топливные фракции, свойства, полиэтилен, полипропилен.

Shevchenko K.V., Grigorov A.B., Sinkevich I.V.

### **PROPERTIES OF BOILER FUEL COMPOUNDED BY NARROW FUEL FRACTIONS**

In order to improve the performance properties, in particular viscosity-temperature, of boiler fuel, it is proposed to combine them with narrow fuel fractions obtained by thermal destruction of secondary polymer raw materials (low pressure polyethylene and polypropylene).

When compounding grade 100 fuel oil with narrow fuel fractions, the values of density are reduced to 865 (873) kg / m<sup>3</sup>, conditional viscosity to 2.50 (2.63) deg. um., pour point up to 8 (13) °C), sulfur content up to 0.17 wt%. and the lower heat of combustion increases to 43606 (43850) kJ / kg. At the same time, there is a gradual decrease in the value of the flash point to 114 (127) °C.

This reduction is a negative point, which leads to increased fire safety of fuel oil during its use, storage, pumping and transport. However, the values of the flash point, according to the requirements of regulatory documentation, are within acceptable limits. That is, the value of this indicator can limit the content of fuel oil in narrow fuel fractions.

It is determined that the rational concentration of narrow fuel fractions in the composition of fuel oil grade 100, is within 30% of the mass. Within these limits, there is a permissible decrease in flash point values – an indicator that characterizes the fire hazard of fuel oil during its use, storage, pumping and transportation against the background of improving other performance properties of fuel oil.

The production of the proposed compound boiler fuel on the one hand allows to expand the raw material base of the process by involving in the production process secondary polymer raw materials – solid waste subject to mandatory disposal, on the other – to meet existing demand for boiler fuel by increasing its production.

**Keywords:** fuel, compounding, fuel oil, polymeric raw materials, fuel fractions, properties, polyethylene, polypropylene.