

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

Кваліфікаційна наукова
Праця на правах рукопису

ШЕВЧЕНКО КИРИЛО ВОЛОДИМИРОВИЧ

УДК 662.7:633.8

ДИСЕРТАЦІЯ
ТЕХНОЛОГІЯ КОМПОНЕНТІВ МОТОРНИХ ТА КОТЕЛЬНИХ
ПАЛИВ З ВТОРИННОЇ ПОЛІМЕРНОЇ СИРОВИНИ

161 – Хімічні технології та інженерія
16 – Хімічна та біоінженерія

Дисертація містить результати власних досліджень.
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на
відповідне джерело _____ К.В. Шевченко

Науковий консультант
Григоров Андрій Борисович
Доктор технічних наук,
доцент

Харків 2021



АНОТАЦІЯ

Шевченко К.В. Технологія компонентів моторних та котельних палив з вторинної полімерної сировини. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 161 – Хімічні технології та інженерія (16 – Хімічна та біоінженерія). – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Міністерство освіти і науки України, Харків, 2021.

Дисертаційна робота направлена на розробку технології отримання компонентів моторних та котельних палив.

Об’єкт дослідження – процес отримання компонентів моторних та котельних палив, шляхом термічної деструкції поліетиленової і поліпропіленової вторинної сировини.

Предмет дослідження – вплив хімічного складу та температурних меж википання, отриманих компонентів на властивості компаундованого товарного палива.

У дисертаційній роботі вирішена важлива науково-практична проблема, що пов’язана з розширенням сировинної бази та удосконаленням процесу виробництва моторного і котельного палива, що відповідає стандартам екологічної безпеки, прийнятого у країнах Європейського Союзу.

Під час виконання дисертаційної роботи при вивченні стану питання щодо сировини, технологій та якості товарного палива, використовувався критичний аналіз. При проведенні теоретичних дослідженнях використовувались системний аналіз та гіпотезотворчий метод. Експериментальні дослідження базувалися на використанні стандартизованих (визначення фізико-хімічних показників і корозійного впливу на мідну пластинку) та не стандартизованих (визначення корозійного впливу на мідну пластинку в динамічних умовах, групового та індивідуального хімічного складу з використанням (ГХ/МС) та ІЧ-

спектроскопії) методах дослідження. Статистичну обробку результатів експерименту проводили з використанням програмного пакету статистичного аналізу STATISTICA 10, розробленого компанією StatSoft.

У **вступі** обґрунтована актуальність обраної теми, наведено зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, сформульована мета та основні завдання дослідження, наведено характеристику методів дослідження, представлено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, визначено особистий внесок здобувача, представлена апробація результатів роботи, публікації, структура і обсяг дисертації.

В **першому** розділі роботи здійснено критичний аналіз існуючої інформації, що присвячена даній проблемі. А саме, проаналізовано попит, що склався в Україні на моторні і котельні палива, розглянуто сировинну базу та сучасні технології їх виробництва. Визначені основні властивості палив, що характеризуються значеннями фізико-хімічних показників, перелік яких, наведено у існуючих стандартах на паливо. Досліджено перспективи використання вторинної, зокрема полімерної сировини у виробництві палив, що дозволило обрати напрям дисертаційного дослідження і сформулювати основні його завдання.

В **другому** розділі наведено характеристика обраної полімерної сировини (поліетилену низького тиску і поліпропілену) і товарних палив, які використовувались для отримання зразків компаундованого палива. Розглянуті конструкція лабораторної установки та параметри при яких, проводилася термічна деструкція, обраної сировини. Представлена конструкція лабораторної установки та методика за якої були отримані зразки компаундованого палива та досліджена їх хімічна стабільність.

Для визначення фізико-хімічних показників якості, отриманих компонентів як власно і зразків компаундованого палива використовувалися стандартні методи. Але для більш розширеного та поглибленого дослідження у доповнення к стандартним методам додатково використовувалися методи визначення групового та індивідуального хімічного складу (ГХ/МС) та ІЧ-

спектроскопії), метод визначення показників пожежонебезпеки, методи визначення корозійного впливу на мідну пластинку власне палив у динамічних умовах, а також продуктів їх згоряння. Статистичну обробку отриманих експериментальних даних проводили за допомогою програмного пакету статистичного аналізу STATISTICA 10, розробленого компанією StatSoft.

У **третьому** розділі сформульовано основні вимоги та алгоритм підбору сировини для виробництва палива, який враховує виробничі витрати на кожній стадії виробництва та дозволяє розрахувати собівартість кінцевого продукту – міру його конкурентоспроможності. За цим алгоритмом найбільш перспективною сировиною для отримання компаундованих палив, які відповідають існуючим стандартам екологічної безпеки є поліетилен та поліпропілен. Висунуто гіпотезу про більшу хімічну стабільність паливних фракцій, отриманих з полімерної сировини, ніж їх аналогів, отриманих з нафтової сировини. Це пояснюється відсутністю у складі паливних фракцій полімерного походження ароматичних, азото- та сірковмісних сполук, що здатні інтенсифікувати процес окиснення олефінів.

Теоретично обґрунтовано вплив швидкості термічної деструкції на вихід та властивості паливних фракцій, які можуть бути використані у компаундованому паливі. На підставі запропонованих схем обмеження вмісту компоненту у паливі, запропоновано, що найбільш раціональним для компаундування ДП-3-Євро5-В7є вузька паливна фракція 200-300°C, для мазутів марки 100 – фракція 300-360°C.

В **четвертому** розділі були проведені експериментальні дослідження щодо впливу середньої швидкості термічної деструкції (k , г/с) різної сировини на масовий вихід та фізико-хімічні показники, отриманих продуктів. Так, при збільшенні k від 0,021 г/с до 0,095 г/с, в продуктах деструкції на 8,0-9,8 % мас. збільшується кількість мастильних фракцій, які википають понад >360°C. Встановлено, що для отримання більшого виходу паливних фракцій з вторинної полімерної сировини необхідно

використовувати ПП при мінімальній швидкості деструкції, і навпаки, для отримання більшого виходу мастильних фракцій, доцільно використовувати ПЕНТ при максимальній швидкості деструкції. Також, збільшення величини k від 0,021 г/с до 0,095 г/с призводить до збільшення величини ρ^{20} (на 43-46 кг/м³), v^{20} (на 2,96-3,95 мм²/с), $t_{\text{пом}}$ (на 8-9 °С), $t_{\text{заст}}$ (на 9-10 °С) та зменшення величини $t_{\text{с.з.}}$ (на 92-95 °С) ШПФ. Корозійні дослідження ШПФ показали, що вона витримує дослідження на мідній пластинці, навіть у присутності 1%. (потьмяніння мідної пластинки, відповідає класу 1.a). Продукти згоряння ШПФ викликають помірне потьмяніння мідної пластинки, яке в залежності від їх температури відповідає класу 2.b (180-230°C) або класу 2.d (230-290°C). Збільшення температури початку кипіння $t_{\text{пк}}$ ВПФ від 160°C до 240°C, відбувається збільшення їх $t_{\text{сп}}$ (на 71 °С (75 °С)) та v^{20} (на 3,89 мм²/с (6,91 мм²/с)) з одночасним збільшенням величини $t_{\text{заст}}$ (на 10 °С (15 °С)) та загальне зниження масового виходу фракцій. Незалежно від типу полімерної сировини зі збільшенням величини $t_{\text{п.к}}$ у всіх досліджуваних пробах відбувається зменшення величини $t_{\text{с.з.}}$ та збільшення величини ЦЧ (діапазон досліджуваних зразків, складає 33,1-52,6 одиниць). ВПФ чинять корозійний вплив на мідну пластинку на рівні 1клас, що не змінюється навіть при вмісті у ВПФ води на рівні 1,0 %.

Використання ГХ/МС дозволило встановити хімічний склад ВПФ та підтвердити гіпотезу, що не зважаючи на вміст олефінів у ВПФ, за відсутністю азот-, сірковмісних та ароматичних сполук, навіть при примусовому окисненні 5 дм³/год. повітря при 50°C протягом 12 годин, вони характеризуються високою хімічною стабільністю.

На підставі проведених досліджень, було зроблено висновок, що шляхом підбору температурних меж википання, з ШПФ можна отримати ВПФ, які за значенням фізико-хімічних показників будуть відповідати вимогам до дизельних та котельних палив, і можуть бути з ними компаундовані. Раціональний вміст ВПФ (200-300°C) у ДП-3-Євро5-В7, складає 20% мас.(для ПЕНТ) і 30% мас. (для ПП). А ВПФ (300-360 °С) у

кількості до 30% мас., можна використовувати для компаундування з мазутом марки 100, для поліпшеними його в'язкістю-температурних властивостей.

В п'ятому розділі розглянуті технологічні принципи виробництва палива з вторинної полімерної сировини і техніко-економічні показники виробництва. Встановлено, що вторинна полімерна сировина як і продукти, що утворюються під час її переробки у компоненти моторних та котельних палив відносяться до малонебезпечних речовин (клас небезпеки III-IV; ГДК 100-300 мг/м³). При штатному режимі експлуатації установки основними шкідливими викидами є стічні води з стадії підготовки полімерної сировини, та біля 1,0% твердого залишку. Запропоновано раціональну технологічну схему переробки полімерної сировини в компоненти моторних та котельних палив, яка складається з реактора термічної деструкції ($t=280 \div 400^{\circ}\text{C}$; $P=0,1 \div 0,25$ МПа) поєднаного з колонною ($t_{\text{верх}}=250 \div 280^{\circ}\text{C}$; $P=0,05 \div 0,35$), складної колони фракціювання отриманих продуктів ($t_{\text{низ}}=250 \div 280^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{верх}}=300 \div 350^{\circ}\text{C}$; $P=0,05 \div 0,20$) та резервуарного парку (4 резервуари типу РГС) для прийому та зберігання отриманих продуктів. Цільовими продуктами установки є 35-45% ВПФ ($200-300^{\circ}\text{C}$) і 10-15% ВПФ ($300-360^{\circ}\text{C}$) – компоненти моторних та котельних палив, відповідно. Побічними продуктами є 3-5% вуглеводневих газів, 10-20% ВПФ (п.к.- 200°C) та 20-30% фракції, що википає понад 360°C . Наведено розрахунок складної ректифікаційної колони насадкового типу з використанням системи HYSYS, що дозволило побудувати енергоефективну схему переробки полімерної сировини в компоненти моторних та котельних палив використовуючи рекуперацію надлишкового тепла матеріальних потоків. Очікуваний економічний ефект при отриманні ШПФ з вторинної полімерної сировини, у порівнянні з газоконденсатною сировиною, складає 11550,98 грн./т. основного продукту. Відвернений екологічний збиток від забруднення навколишнього природного середовища при заміні поховання на полігонах,

полімерних ТПВ на їх технологічну переробку в компоненти моторних та котельних палив, складає 96,679 млн. грн.

Ключові слова: вторинна сировина, поліетилен, поліпропілен, переробка, термічна деструкція, фракції, паливо, фізико-хімічні показники, компаундування, шкідливі викиди, економічний ефект.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

Наукові праці, в яких опубліковано основні наукові результати дисертації:

1. Шевченко К.В. Дослідження корозійного впливу на метал широкої паливної фракції, отриманої з вторинної полімерної сировини / Б. Григоров, К. В. Шевченко, І. В. Сінкевич // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Сер. : Хімія, хімічна технологія та екологія: зб. наук. пр. – Харків : НТУ "ХПІ", 2020. – № 2. – С. 75-79.

2. Шевченко К.В. Отримання компоненту котельного палива з вторинного поліпропілену / К. В. Шевченко, А.Б. Григоров // Інтегровані технології та енергозбереження. – 2020. - №4. - С.83-89.

3. Kyrylo Shevchenko. Improvement of Operational Properties of Technological Fuel. (A Review) / Kyrylo Shevchenko, Grigorov Andrey, Svetlana Neshko, Natalia Desna, Oleksandr Bondarenko, Yevhen Stetsiuk // Petroleum & Coal journal. – 2021. - Volume 63. - Issue 1. - pp. 34-40

4. Шевченко К.В. Визначення корозійного впливу на метал палива, отриманого з вторинної полімерної сировини / К.В. Шевченко, А.Б. Григоров, І.В. Сінкевич // Інтегровані технології та енергозбереження. – 2021. - №1. - С.48-56.

5. Шевченко К.В. Займистість вуглеводневих фракцій, отриманих деструкцією полімерної сировини / К.В. Шевченко, А.Б. Григоров // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Сер. : Хімія, хімічна

технологія та екологія: зб. наук. пр. – Харків : НТУ "ХПІ", 2021. – № 1(5). – С. 51-55.

6. Kyrylo Shevchenko. Technology for producing components of technological and boiler fuels from polymer raw materials / Kyrylo Shevchenko, Andrey Grigorov, Vitaliy Ponomarenko, Mikhail Nahliuk, Oleksandr Bondarenko, Yevhen Stetsiuk, Vasyl Matukhno // Petroleum & Coal journal. – 2021. - Volume 63. - Issue 3. - pp. 736-741.

7. Шевченко К.В. Властивості котельного палива, компаундованого вузькими паливними фракціями / К.В. Шевченко, А.Б. Григоров, І.В. Сінкевич // Інтегровані технології та енергозбереження. – 2021. - №2. - С.22-29.

Опубліковані праці апробаційного характеру:

8. Шевченко К.В. Перспективи отримання компонентів моторних, технологічних та котельних палив з вторинної полімерної сировини / Шевченко К.В., Григоров А.Б // Технологія-2021:XXIV матеріали міжнар.наук.-техн. конф., 16 квіт. 2021 р., м. Сєверодонецьк. Ч. I / [укл. : ТарасовВ.Ю.]. – Сєверодонецьк : [Східноукр. нац. ун-т ім. В. Даля], 2021. – 263с. – (С.17).

9. Шевченко К.В. Про технологічну переробку використаної поліетиленової тари / А.Б. Григоров, О.О.Мардупенко, К.В. Шевченко // Тези доповіді на XXI міжнародної науково практичної конференції «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я». – Харків, 2013. – С. 290.

10. Шевченко К.В. Перспективи отримання компонентів палив з полімерної сировини / К.В. Шевченко, А.Б. Григоров // Майбутній науковець – 2020 : матеріали всеукр. наук.-практ. конф. з міжнар. участю 4 груд. 2020 р., м. Сєверодонецьк. / укладач В. Ю. Тарасов – Сєверодонецьк : Східноукр. нац. ун-т ім. В. Даля, 2020. – 338 с. – (С. 170-171).

11. Шевченко К.В. Використання продуктів деструкції полімерної сировини у виробництві дизельного палива / К.В. Шевченко, А.Б.Григоров // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей ХХІХ міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2021, 18-20 травня 2021 р.: у 5 ч. Ч. II. / за ред. проф. Сокола Є.І. –Харків: НТУ «ХП». – 345 с. (С.267).

12. Шевченко К.В. Метод визначення корозійної активності палива у динамічних умовах / К.В. Шевченко, А.Б. Григоров // Сучасні технології переробки паливних копалин: тези доповідей IV Міжнародної науково-технічної конференції, 15-16 квітня 2021 р. / укл. Мірошніченко Д.В. – Харків, ТОВ «Планета-Прінт». – 105 с. (С. 88-90).

13. Шевченко К.В. Залучення вторинної сировини до виробництва моторних та котельних палив / А.Б. Григоров, К.В. Шевченко // Priority directions of science and technology development. Proceedings of the 11th International scientific and practical conference. SPC “Sci-conf.com.ua”. Kyiv, Ukraine. 2021. pp. 173-179.

Опубліковані праці які додатково відображають наукові результати дисертації:

14. Шевченко К.В. Адсорбционная очистка дизельных топлив от серосодержащих соединений / А.Б. Григоров, О.О. Мардупенко, К.В. Шевченко // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит.– Харьков, 2014. – №1(119). – С. 47–51.

15. Шевченко К.В. Захисні властивості нафтопродуктів, отриманих з вторинної сировини /А.Б. Григоров, О.О. Мардупенко, І.В. Сінкевич, К.В. Шевченко // Вісник НТУ «ХП». – 2020. – №1. – С. 18–23.

ABSTRACT

K.V. Shevchenko Technology of components of motor and boiler fuels obtained from secondary polymer raw materials. - Qualifying scientific work as a manuscript.

The PhD dissertation on a specialty 161 - Chemical technologies and engineering (Field 16 - Chemical and bioengineering). - National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2021.

The dissertation is aimed at developing the technology of obtaining components of motor and boiler fuels.

The object of research is the producing components of motor and boiler fuels by thermal destruction of polyethylene and polypropylene feedstock.

The subject of the research is the influence of the chemical composition and temperature limits of boiling, the obtained components on the properties of the compound commercial fuel.

The dissertation solves an important scientific and practical problem related to the expansion of the raw material base and improvement of the production process of motor and boiler fuel that meets the standards of environmental safety adopted in the European Union.

As a part of research, a critical analysis was used to study the state of the issue of raw materials, technologies and quality of commercial fuel. Systematic analysis and hypothetical method were used in the theoretical research. Experimental studies were based on the use of standardized (determination of physicochemical parameters and corrosion effects on the copper plate) and non-standardized (determination of corrosion effects on the copper plate under dynamic conditions, group and individual chemical composition using (GC / MS) and IR spectroscopy) research methods. Statistical processing of the experimental results was performed using the statistical analysis software package STATISTICA 10, developed by StatSoft.

In the **introduction** the relevance of the chosen topic was justified, the connection of work with scientific programs, plans, projects was given, the purpose and main tasks of research are formulated, the characteristic of research methods was given, scientific novelty and practical value of the received results is presented. , publications, structure and volume of the dissertation.

The **first** chapter of the work provides a critical analysis of existing information about the process chosen for research. Current demand of Ukraine in motor and boiler fuels is analyzed, the origin of feedstock and modern technologies of their production are considered. The main properties of fuels, characterized by the values of physicochemical parameters, the list of which is given in the existing fuel standards, are determined. Prospects for the use of secondary, in particular polymeric raw materials in the production of fuels, which allowed to choose the direction of the dissertation research and to formulate its main tasks.

The **second** chapter describes the selected polymer feedstock (low pressure polyethylene and polypropylene) and commercial fuels that were used to obtain samples of compounded fuel. The design of the laboratory equipment and the parameters at which the thermal destruction of the selected raw material was carried out are considered. The design of the laboratory installation and the method by which the samples of compounded fuel were obtained and their chemical stability were studied.

Standard methods were used to determine the physicochemical quality indicators, the obtained components as well as the samples of compounded fuel. But for a more extensive and in-depth study in addition to standard methods additionally used methods for determining group and individual chemical composition (GC/MS) and IR spectroscopy), the method of determining fire hazards, methods for determining the corrosive effect on the copper plate actually fuels in dynamic conditions, as well as the products of their combustion. Statistical processing of the obtained experimental data was performed using the statistical analysis software package STATISTICA 10, developed by StatSoft.

The **third** chapter formulates the basic requirements and algorithm for the selection of feedstock for fuel production, which takes into account production costs at each stage of production and allows you to calculate the cost of the final product - a measure of its competitiveness. According to this algorithm, the most promising raw materials for the production of compound fuels that meet existing environmental safety standards are polyethylene and polypropylene. The hypothesis of greater chemical stability of fuel fractions obtained from polymeric raw materials than their analogues obtained from petroleum raw materials. This is explained by the absence of aromatic, nitrogen- and sulfur-containing compounds in the fuel fractions of polymeric origin, which are able to intensify the oxidation process of olefins.

The influence of the rate of thermal destruction on the yield and properties of fuel fractions that can be used in compound fuel is theoretically substantiated. Based on the proposed schemes for limiting the content of the component in the fuel, it is proposed that the most rational for compounding DP-C-Euro5-B7 is a narrow fuel fraction of 200-300 °C, for fuel oil brand 100 - fraction of 300-360 °C.

In the **fourth** chapter, experimental studies were conducted on the effect of the average rate of thermal destruction (k , g / s) of different raw materials on the mass yield and physicochemical parameters of the obtained products. Thus, with increasing k from 0.021 g / s to 0.095 g / s, in the products of destruction by 8.0-9.8% of the mass. the number of lubricating fractions that boil over > 360 ° C increases. It is established that to obtain a higher yield of fuel fractions from secondary polymer raw materials it is necessary to use PP at the minimum rate of destruction, and vice versa, to obtain a higher yield of lubricating fractions, it is advisable to use PENT at the maximum rate of destruction. Also, an increase in the value of k from 0.021 g/s to 0.095 g/s leads to an increase in the value of ρ^{20} (by 43-46 kg/m³), v^{20} (by 2.96-3.95 mm²/s), t_{soft} (by 8- 9 °C), t_{hard} (by 9-10 °C) and decrease in the value of t (at 92-95 °C) FFT. Corrosion research of FFT showed that it can withstand tests on a copper plate, even in the presence of 1%. (darkening of the copper plate, corresponds to class 1.a). Fuel combustion products cause

moderate darkening of the copper plate, which, depending on their temperature, corresponds to class 2.b (180-230 °C) or class 2.d (230-290 °C). Increasing the temperature of the onset of boiling t_{pk} VPF from 160 °C to 240 °C, there is an increase in their t_{sp} (71 °C (75 °C)) and v^{20} (3.89 mm² / s (6.91 mm²/s)) with simultaneous an increase in the value of t_{hard} (10 °C (15 °C)) and a general decrease in the mass yield of fractions. Regardless of the type of polymeric raw material with an increase in the value of $t_{p.k}$ in all tested samples there is a decrease in the value of $t_{s.z.}$ and an increase in the value of the CC (range of test samples is 33.1-52.6 units). VPF have a corrosive effect on the copper plate at the level of 1st class, which does not change even when the content of VPF water at 1.0%.

The use of GC / MS allowed to establish the chemical composition of OPF and to confirm the hypothesis that despite the content of olefins in OPF, in the absence of nitrogen, sulfur and aromatic compounds, even with forced oxidation of 5 dm³ / h. air at 50 ° C for 12 hours, they are characterized by high chemical stability.

Based on the research, it was concluded that by selecting the temperature limits of boiling, FFT can be obtained VPF, which in terms of physical and chemical parameters will meet the requirements for diesel and boiler fuels, and can be combined with them. The rational content of VPF (200-300 °C) in DP-C-Euro5-B7, is 20% wt. (For PENT) and 30% wt. (for PP). And VPF (300-360 °C) in the amount of up to 30% by weight, can be used for compounding with fuel oil grade 100, for improved viscosity-temperature properties.

The **fifth** chapter discusses the technological principles of production of fuel from secondary polymer raw materials and technical and economic indicators of production. It is established that secondary polymer raw materials as well as products formed during its processing into components of motor and boiler fuels belong to low-hazard substances (hazard class III-IV; MPC 100-300 mg/m³). In the normal mode of operation of the installation, the main harmful emissions are wastewater from the stage of preparation of polymer raw materials, and about 1.0% of solid residue. A rational technological scheme for processing polymeric

raw materials into components of motor and boiler fuels is proposed, which consists of a thermal destruction reactor ($t = 280 \div 400 \text{ }^\circ\text{C}$; $P = 0,1 \div 0,25 \text{ MPa}$) combined with a column ($t_{\text{top}} = 250 \div 280 \text{ }^\circ\text{C}$; $P = 0,05 \div 0,35$), complex column of fractionation of the obtained products ($t_{\text{down}} = 250 \div 280 \text{ }^\circ\text{C}$, $t_{\text{top}} = 300 \div 350 \text{ }^\circ\text{C}$; $P = 0,05 \div 0,20$) and tank farm (4 RGS type tanks) for receiving and storing the obtained products. The target products of the installation are 35-45% VPF (200-300 $^\circ\text{C}$) and 10-15% VPF (300-360 $^\circ\text{C}$) - components of motor and boiler fuels, respectively. By-products are 3-5% of hydrocarbon gases, 10-20% of VPF (PK-200 $^\circ\text{C}$) and 20-30% of the fraction boiling above 360 $^\circ\text{C}$. The calculation of a complex nozzle-type distillation column using the HYSYS system, which allowed to build an energy-efficient scheme for processing polymer raw materials into components of motor and boiler fuels using the recovery of excess heat of material flows. The expected economic effect in obtaining FFT from secondary polymer raw materials, in comparison with gas condensate raw materials, is 11550.98 UAH / t of main product. The averted ecological damage from environmental pollution during the replacement of burials at landfills, polymer solid waste for their technological processing into components of motor and boiler fuels, amounts to UAH 96.679 million.

Keywords: secondary raw materials, polyethylene, polypropylene, processing, thermal destruction, fractions, fuel, physicochemical parameters, compounding, harmful emissions, economic effect.

LIST OF THE APPLICANT'S PUBLICATIONS

Scientific works in which the main scientific results of the dissertation have been published:

1. Shevchenko K.V. Doslidzhennia koroziinoho vplyvu na metal shyrokoj palyvnoi fraktsii, otrymanoï z vtorynnoi polimernoï syrovyny /A.B. Hryhorov, K. V. Shevchenko, I. V. Sinkevych // Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho

universytetu "KhPI". Ser. : Khimiia, khimichna tekhnolohiia ta ekolohiia: zb. nauk. pr. – Kharkiv : NTU "KhPI", 2020. – № 2. – p. 75-79.

2. Shevchenko K.V. Otrymannia komponentu kotelnoho palyva z vtorynnoho polipropilenu / K. V. Shevchenko, A.B. Hryhorov // Intehrovani tekhnolohii ta enerhozberezhennia. – 2020. - №4. - p.83-89.

3. Kyrylo Shevchenko. Improvement of Operational Properties of Technological Fuel. (A Review) / Kyrylo Shevchenko, Grigorov Andrey, Svetlana Neshko, Natalia Desna, Oleksandr Bondarenko, Yevhen Stetsiuk // Petroleum & Coal journal. – 2021. - Volume 63. - Issue 1. - pp. 34-40

4. Shevchenko K.V. Vyznachennia koroziiinoho vplyvu na metal palyva, otrymanoho z vtorynnoi polimernoi syrovyny / K.V. Shevchenko, A.B. Hryhorov, I.V. Sinkevych // Intehrovani tekhnolohii ta enerhozberezhennia. – 2021. - №1. - S.48-46.

5. Shevchenko K.V. Zaimystist vuhlevodnevykh fraktsii, otrymanykh destruktsiieiu polimernoi syrovyny / K.V. Shevchenko, A.B. Hryhorov // Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu "KhPI". Ser. : Khimiia, khimichna tekhnolohiia ta ekolohiia: zb. nauk. pr. – Kharkiv : NTU "KhPI", 2021. – № 1(5). – S. 51-55.

6. Kyrylo Shevchenko. Technology for producing components of technological and boiler fuels from polymer raw materials / Kyrylo Shevchenko, Andrey Grigorov, Vitaliy Ponomarenko, Mikhail Nahliuk, Oleksandr Bondarenko, Yevhen Stetsiuk, Vasyl Matukhno // Petroleum & Coal journal. – 2021. - Volume 63. - Issue 3. - pp. 736-741-40.

7. Shevchenko K.V. Vlastyvosti kotelnoho palyva, kompaundovanoho vuzkymy palyvnymy fraktsiiamy / K.V. Shevchenko, A.B. Hryhorov, I.V. Sinkevych // Intehrovani tekhnolohii ta enerhozberezhennia. – 2021. - №2. - S.48-46.

Published works that represent approbation of results:

8. Shevchenko K.V. Perspektyvy otrymannia komponentiv motornykh, tekhnolohichnykh ta kotelnykh palyv z vtorynnoi polimernoi syrovyny / Shevchenko K.V., Hryhorov A.B // Tekhnolohiia-2021:XKhIV materialy mizhnar.nauk.-tekhn. konf., 16 kvit. 2021 r., m. Sievierodonetsk. Ch. I / [ukl. : Tarasov V.Iu.]. – Sievierodonetsk : [Skhidnoukr. nats. un-t im. V. Dalia], 2021. – 263c. – (S.17).

9. Shevchenko K.V. Pro tekhnolohichnu pererobku vykorystanoi polietylenovoi tary / A.B. Hryhorov, O.O.Mardupenko, K.V. Shevchenko // Tezy dopovidi na XXI mizhnarodnoi naukovo praktychnoi konferentsii «Informatsiini tekhnolohii: nauka, tekhnika, tekhnolohiia, osvita, zdorovia». – Kharkiv, 2013. – S. 290.

10. Shevchenko K.V. Perspektyvy otrymannia komponentiv palyv z polimernoi syrovyny / K.V. Shevchenko, A.B. Hryhorov // Maibutnii naukovets – 2020 : materialy vseukr. nauk.-prakt. konf. z mizhnar. Uchastiu 4 hrud. 2020 r., m. Sievierodonetsk. / ukladach V. Yu. Tarasov – Sievierodonetsk : Skhidnoukr. nats. un-t im. V. Dalia, 2020. – 338 s. – (S. 170-171).

11. Shevchenko K.V. Vykorystannia produktiv destrukttsii polimernoi syrovyny u vyrobnytstvi dyzelnoho palyva / K.V. Shevchenko, A.B.Hryhorov // Informatsiini tekhnolohii: nauka, tekhnika, tekhnolohiia, osvita, zdorovia: tezy dopovidei KhXIX mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii MicroCAD-2021, 18-20 travnia 2021 r.: u 5 ch. Ch. II. / za red. prof. Sokola Ye.I. –Kharkiv: NTU «KhPI». – 345 s. (S.267).

12. Shevchenko K.V. Metod vyznachennia korozii noi aktyvnosti palyva u dynamichnykh umovakh / K.V. Shevchenko, A.B. Hryhorov // Suchasni tekhnolohii pererobky palnykh kopalyn: tezy dopovidei IV Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii, 15-16 kvitnia 2021 r. / ukl. Miroshnychenko D.V. – Kharkiv, TOV «Planeta-Print». – 105 s. (S. 88-90).

13. Shevchenko K.V. Zaluchennia vtorynnoi syrovyny do vyrobnytstva motornykh ta kotelnykh palyv / A.B. Hryhorov, K.V. Shevchenko // Priority directions of science and technology development. Proceedings of the 11th International scientific and practical conference. SPC “Sci-conf.com.ua”. Kyiv, Ukraine. 2021. Pp. 173-179.

Published works that additionally represent science results of research:

14. Shevchenko K.V. Adsorbtsyonnaia ochystka dyzelnykh toplyv ot serosoderzhashchykh soedyneni / A.B. Hryhorov, O.O. Mardupenko, K.V. Shevchenko // Enerhosberezhenye. Enerhetyka. Enerhoaudit.– Kharkov, 2014. – №1(119). – S. 47–51.

15. Shevchenko K.V. Zakhysni vlastyvoli naftoproduktiv, otrymanykh z vtorynnoi syrovyny /A.B. Hryhorov, O.O. Mardupenko, I.V. Sinkevych, K.V. Shevchenko // Visnyk NTU «KhPI». – 2020. – №1. – S. 18–23.

ЗМІСТ

СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	5
ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. ХАРАКТЕРИСТИКА СИРОВИНИ І ТЕХНОЛОГІЙ ОТРИМАННЯ МОТОРНИХ ТА КОТЕЛЬНИХ ПАЛИВ.	13
1.1. Загальна характеристика та класифікація моторних та котельних палив.	13
1.2. Технології виробництва дизельних палив та топкових мазутів.	15
1.3. Склад товарних дизельних палив та топкових мазутів.	16
1.4. Вимоги до експлуатаційних показників товарних дизельних палив та топкових мазутів.	18
1.5. Перспективи використання вторинної сировини у виробництві моторних та котельних палив.	23
1.6. Висновки до 1 розділу.	31
Список літературних джерел до 1 розділу.	33
РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛИ ТА ХІМІЧНІ РЕАКТИВИ. МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	39
2.1. Характеристика вихідних матеріалів та хімічних реактивів, що використовувались у дослідженнях	39
2.1.1. Полімерні матеріали	39
2.1.2. Товарні нафтопродукти	43
2.1.3. Хімічні реактиви.....	45
2.2. Методики отримання компонентів палива з вторинної полімерної сировини та компаундування паливних сумішей.	47
2.3. Дослідження показників якості компонентів та компаундованих палив.	51
2.3.1. Стандартизовані методи дослідження.	52
2.3.2. Нестандартизовані методи дослідження.	52
2.4. Методи обробки експериментальних даних.	59
2.5. Висновки до 2 розділу.	60
Список літературних джерел до 2 розділу	61
РОЗДІЛ 3. НАУКОВО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРИНЦИПИ ОТРИМАННЯ КОМПОНЕНТІВ ПАЛИВ З ВТОРИННОЇ ПОЛІМЕРНОЇ СИРОВИНИ.	64
3.1. Вимоги щодо визначення та алгоритм підбору сировини.	64
3.2. Формування хімічного складу палива під час термічної деструкції вуглеводневої сировини.....	68
3.3. Технологічні принципи використання полімерної сировини у виробництві палива.	74
3.4. Схеми обмеження вмісту компоненту.	81
3.5. Висновки до 3 розділу	83
Список літературних джерел до 3 розділу.	84

РОЗДІЛ 4. ЕКСПЕРЕМІНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ КОМПОНЕНТІВ ПАЛИВА, ОТРИМАНИХ З ВТОРИННОЇ ПОЛІМЕРНОЇ СИРОВИНИ	89
4.1. Дослідження складу та властивостей ШПФ.....	89
4.1.1. Вплив швидкості деструкції полімерної сировини на кількісний вихід отриманих продуктів.	89
4.1.2. Вплив швидкості деструкції полімерної сировини на властивості отриманих продуктів.....	94
4.2. Дослідження складу та властивостей ВПФ.....	100
4.2.1. Дослідження стандартизованих фізико-хімічних показників якості ВПФ.....	100
4.2.2. Дослідження займистості ВПФ.	104
4.2.3. Дослідження корозійного впливу на метал ВПФ у динамічних умовах.....	107
4.2.4. Дослідження хімічної стабільності ВПФ.....	109
4.3. Дослідження властивостей компаундованого ВПФ палива.	113
4.3.1. Дослідження властивостей компаундованого ВПФ моторного палива.	113
4.3.2. Дослідження властивостей компаундованого ВПФ котельного палива.	119
4.4. Висновки до 4 розділу.	124
Список літературних джерел до 4 розділу.	127
РОЗДІЛ 5. ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРИНЦИПИ ВИРОБНИЦТВА ПАЛИВА З ВТОРИННОЇ ПОЛІМЕРНОЇ СИРОВИНИ. ТЕХНІКО- ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ВИРОБНИЦТВА.....	131
5.1. Основні загальні принципи проектування виробництва моторних та котельних палив з вторинної полімерної сировини.....	131
5.2. Характеристика сировини, продуктів та шкідливих викидів, що утворюються під час виробництва палива.	132
5.2.1. Характеристика сировини.	132
5.2.2. Характеристика продуктів деструкції.....	132
5.2.3. Шкідливі викиди.	134
5.3. Принципова схема переробки полімерної сировини в компоненти моторних та котельних палив.	135
5.4. Порядок безпечної експлуатації установки переробки полімерної сировини в компоненти моторних та котельних палив.	139
5.5. Моделювання роботи складної ректифікаційної колони з використанням універсальної системи HYSYS.	142
5.6. Схема компаундування моторних та котельних палив.....	145
5.7. Техніко-економічні показники ефективності виробництва компонентів моторних та котельних палив.....	148
5.8. Розрахунок відверненого екологічного збитку.....	153
5.9. Висновки до 5 розділу.	154
Список літературних джерел до 5 розділу.	155
ВИСНОВКИ.....	159

ДОДАТКИ.....	162
ДОДАТОК А Рівняння регресії залежності f від величини k для ШПФ та отриманих з неї ВПФ	162
ДОДАТОК Б Рівняння регресії для залежностей фізико-хімічних показників якості ШПФ від k	163
ДОДАТОК В Рівняння регресії для залежностей фізико-хімічних показників якості ВПФ від $t_{пк}$	164
ДОДАТОК Г Рівняння регресії для залежностей показників займистості ВПФ.....	166
ДОДАТОК Д Рівняння регресії для залежностей показників якості компаундованого палива від вмісту ВПФ	167
ДОДАТОК Е АКТ впровадження результатів дисертаційної роботи на підприємстві ТОВ «Гамма хімпром»	169
ДОДАТОК Ж АКТ впровадження результатів дисертаційної роботи на підприємстві ТОВ «Хімконсалтинг Трейд»	170
ДОДАТОК З СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА	171