

## ВІДГУК

офіційного опонента про дисертаційну роботу  
**Гринишин Ксенії Олегівни**  
**«Одержання компонентів моторних палив на основі  
продуктів переробки відходів термопластів»**,

представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії  
за спеціальністю 161 – Хімічні технології та інженерія  
(галузь знань 16 – Хімічна інженерія та біоінженерія)

### **Актуальність теми**

Вивчення рукопису дозволяють дійти висновку, що дисертаційна робота Гринишин К. О. присвячена вирішенню **актуального науково-прикладного завдання** щодо одержання компонентів моторних палив з вторинної сировини – відходів термопластів.

З точки зору енергетичної безпеки держави та через значний ступінь імпортозалежності в моторних паливах проблема отримання компонентів моторних палив і самих моторних палив з альтернативної сировини набуває все більш важливого стратегічного значення.

На підставі аналізу формальних аспектів дисертації Гринишин К. О., вимог до оформлення та представлення результатів дослідження, можна дійти висновку, що поставлені в роботі завдання досліджень доведені до кінцевого логічного вирішення, а сама дисертація є завершеною науково-дослідною працею та відповідає встановленим на сьогодні вимогам.

**Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертаційній роботі.**

Наукові положення, висновки, технологічні рішення, що сформульовані в дисертаційній роботі, теоретично обґрунтовані, а їх достовірність підтверджується результатами експериментальних досліджень (розділи 3–5), що мають теоретичне підґрунтя та обґрунтовані. Усі висновки базуються на великому масиві аналітичних і експериментальних матеріалів, одержаних з використанням сучасних стандартних і науково обґрунтованих методів досліджень.

**Тема дисертаційної роботи Гринишин К. О.** безпосередньо пов'язана з пріоритетними напрямками розвитку науки і техніки України згідно з п. 4 «Енергетика та енергоефективність», п. 5 «Раціональне природокористування» і п. 7 «Нові речовини і матеріали» статті 3 Закону України «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки» (редакція від 13.01.2024 р.), а також знаходиться у контексті положень Енергетичної стратегії України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» та відповідає науковим напрямкам кафедри хімічної технології переробки пластмас Національного університету «Львівська політехніка» за науковим напрямом кафедри «Теоретичні і прикладні аспекти одержання, модифікування, суміщення та перероблення функціоналі-

зованих (ко)полімерів, полімерних композитів і виробів зі спеціальними властивостями». Дисертаційна робота виконана в межах науково-дослідної роботи «Розроблення методів регенерації й утилізації відпрацьованих нафтопродуктів та одержання паливно-мастильних компонентів з відновлювальних джерел сировини» (№ держ. реєстр. 0118U000414). Автор дисертаційної роботи є одним з виконавців цієї наукової теми.

#### **Достовірність результатів досліджень.**

Достовірність результатів теоретичних досліджень підтверджується результатами відповідних експериментальних досліджень (розділи 3–5), а також апробацією на 9 конференціях різного рівня, актом упровадження у навчальний процес (додаток А).

Наукові положення, практичне значення та висновки дисертації логічно побудовані у контексті мети та сформульованих завдань, експериментально доведені, математично опрацьовані та теоретично обґрунтовані.

**Структура і обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається із анотації двома мовами, списку опублікованих праць за темою дисертації, вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел літератури та 1 додатку. Загальний обсяг дисертації складає 134 сторінки, з них: 13 рисунків, 47 таблиць, список використаної літератури зі 108 найменувань, одного додатка. Рисунки, таблиці, додаток і список використаної літератури сумарно займають 16 сторінок.

#### **До основних нових наукових результатів дисертації автор відносить таке:**

- розроблено наукові основи низькотемпературного піролізу відходів поліетилену високої густини, поліпропілену та полістиролу та встановлено принципову можливість одержання з утвореного піроконденсату компонентів моторних палив. Встановлено, що порівняно з піролізом зношених автомобільних шин під час піролізу відходів термопластів вихід піроконденсату є більшим в 1,9-2,1 рази, а його якість є значно вищою;

- за результатом вивчення впливу режиму процесу піролізу поліетиленових і поліпропіленових відходів на вихід та властивості піроконденсату встановлено, що чим вища температура піролізу тим нижчий вихід рідкого продукту – піроконденсату. Доведено, що за вищих температур утворюється піроконденсат легшого фракційного складу, зокрема за температури 400 °C вміст в піроконденсаті піролізу поліетилену світлих фракцій складає 56,5 % мас., а за температури 450 °C – 85,8 % мас. У випадку піролізу поліпропілену за 350 °C вміст світлих фракцій в піроконденсаті складає 75,5 % мас., а за температури 400 °C – 90,0 % мас.;

- встановлено, що пірокарбон, одержаний під час піролізу відходів полістиролу та гуми проявляє сорбційну здатність щодо нафти та нафтопродуктів в межах 0,66-1,45 г/г.

#### **Значимість отриманих результатів для науки і практичного використання.**

Автором позиціонуються й репрезентуються практичні результати у такий спосіб:

- розроблено технологічні рекомендації для одержання компонентів

моторних палив з піроконденсату піролізу відходів термопластів. Для отримання продукції максимально високої якості рекомендовано проводити процес піролізу в максимально жорсткому режимі – для піролізу відходів поліетилену за температури 450°C; для піролізу відходів поліпропілену – 400°C. Запропоновано методи вторинної переробки бензинової та дизельної фракцій піроконденсату для забезпечення відповідності їх експлуатаційних характеристик вимогам нормативних документів на товарні моторні палива;

- запропоновано практичне використання побічних продуктів процесу піролізу відходів термопластів: пірогази доцільно використовувати безпосередньо на установках піролізу як паливо для власних потреб; залишок перегонки піроконденсату рекомендовано використовувати як компонент паливного мазуту або як сировину для виробництва пластичних мастил;

- вивчено склад та властивості пірокарбону, одержаного під час піролізу відходів полістиролу та гумових відходів. Встановлено, що здатність до поглинання нафти пірокарбонем піролізу зношених шин складає 1,05–1,45 г/г, а здатність до поглинання нафтопродуктів знаходиться в межах 1,02–1,46 г/г; Сорбційна здатність пірокарбону піролізу відходів полістиролу є дещо нижчою і знаходиться в межах 0,66–0,96 г/г. На підставі проведених досліджень запропоновано використовувати пірокарбон як адсорбент для збору і локалізації розливів нафти і нафтопродуктів на твердих та водних поверхнях;

- розроблено основи технології перероблення відходів термопластів – запропоновано принципову технологічну схему установки піролізу, складено технологічну карту, розраховано матеріальний баланс процесу піролізу;

- розраховано виробничу собівартість піроконденсату піролізу відходів термопластів – 2070,73 грн./т. За наближеними оцінками відпускна вартість піроконденсату в 5 разів менша, ніж вартість сирової нафти, що переконує у доцільності переробки відходів термопластів методом низькотемпературного піролізу;

- результати досліджень впроваджено у навчальний процес підготовки докторів філософії у НУ «Львівська політехніка» за спеціальністю 161 – хімічні технології та інженерія.

### **Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях.**

Результати досліджень опубліковані у 14 працях, серед яких: 5 наукових статей у фахових виданнях України, з яких 2 входять до міжнародних наукометричних баз Scopus, 9 матеріалах і тезах конференцій різного рівня.

Участь здобувача у роботах, що опубліковані у співавторстві зазначена у дисертаційній роботі.

Опубліковані праці цілком відображають основний зміст дисертаційної роботи та відповідають вимогам пункту 8 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою КМУ від 12.01.2022 р. №44.

Публікації здобувача висвітлюють основні наукові положення дисертації, зокрема, ті, що автор виносить на захист, а також характеризують особистий внесок дисертанта.

### **Оцінка змісту дисертаційної роботи**

У вступі автором обґрунтовано актуальність обраної теми дослідження, сформульовані мета, об'єкт і предмет дослідження, та основні завдання дослідження; наведено характеристику методів дослідження, наукову новизну та практичне значення отриманих результатів; представлено особистий внесок здобувача, апробація результатів роботи, структура та обсяг дисертаційної роботи.

Перший розділ дисертаційної роботи присвячено критичному аналізу проблеми накопичення полімерних відходів в Україні та світі, класифікації методів утилізації полімерних відходів. Описано основні методи утилізації полімерних відходів: захоронення, спалювання, рециклінг, сольволіз (гідроліз, гліколіз, метаноліз), конверсія (термічний піроліз, каталітичний піроліз, газифікація). Вказано переваги та недоліки цих методів утилізації полімерних відходів. Описано методи переробки гумових відходів. Сформульовано висновок, що метод низькотемпературного термічного піролізу полімерних відходів заслуговує на особливу увагу, оскільки він дає змогу отримувати максимальну кількість рідких вуглеводнів і є технічно простим та порівняно недорогим. На підставі аналізу літератури сформульовано мету та основні завдання, що необхідно вирішити в дисертаційній роботі.

У другому розділі представлено загальну характеристику вибраних для проведення подальших досліджень відходів термопластів: поліетилену високої густини, поліпропілену і полістиролу. Відходи цих полімерів є найбільш масовими полімерними відходами, а їх вторинна переробка традиційними методами ускладнена. Описано методики проведення аналізів та експериментів, що використовувалися під час виконання дисертаційної роботи.

У третьому розділі представлено результати еспериментальних досліджень наведено результати досліджень низькотемпературного піролізу відходів поліетилену, поліпропілену та полістиролу. На підставі результатів термогравіметричного аналізу вибрано оптимальні умови піролізу (для відходів поліетилену – 410 °С; поліпропілену – 380 °С; полістиролу – 400 °С). Для порівняння проведено низькотемпературний піроліз гумових відходів. Встановлено, що вихід цільового продукту (піроконденсату) піролізу відходів термопластів є значно вищим, ніж піроконденсату піролізу гумових відходів. Встановлено принципову можливість використання світлих фракцій, виділених з піроконденсату піролізу відходів термопластів, як компонентів товарних бензинів і дизельних палив за умови додаткової переробки на нафтопереробних заводах.

У четвертому розділі експериментально досліджено вплив режиму процесу піролізу відходів поліетилену і поліпропілену на вихід та властивості піроконденсату. Встановлено, що чим вищою є температура піролізу тим нижчим є вихід рідкого продукту – піроконденсату. За вищих температура утворюється

піроконденсат легшого фракційного складу. Вивчено склад та властивості вузьких фракцій і залишку, виділених з піроконденсату піролізу відходів поліетиленову і поліпропілену, проведеного в різних режимах.

П'ятий розділ дисертаційної роботи присвячено опису технологічних аспектів одержання компонентів моторних палив методом низькотемпературного піролізу відходів термопластів. Розроблено технологічні рекомендації для одержання компонентів моторних палив з піроконденсату піролізу цих відходів. Запропоновано напрямки використання побічних продуктів процесу піролізу відходів термопластів. Запропоновано використовувати пірокарбон як адсорбент для збору і локалізації розливів нафти і нафтопродуктів на твердих а водних поверхнях. Розроблено основи технології низькотемпературного піролізу відходів термопластів – запропоновано принципову технологічну схему установки піролізу, складено технологічну карту, розраховано матеріальний баланс процесу піролізу. Розраховано виробничу собівартість піроконденсату піролізу відходів термопластів та підтверджено доцільність та високу ефективність переробки відходів термопластів методом низькотемпературного піролізу для одержання компонентів моторних палив.

Встановлено, що усі фракції та залишок містять ненасичені вуглеводні, що підтверджується високим значенням йодного числа.

### **Академічна доброчесність**

Результати дослідження, що винесено автором на захист, отримані самостійно та містяться в опублікованих працях. У працях, опублікованих у співавторстві, використані тільки ті ідеї, положення та розрахунки, що є результатом індивідуальних наукових пошуків.

Невідповідності вимогам академічної доброчесності в дисертації та наукових публікаціях, у яких висвітлені основні наукові результати дисертації **Гринишин К. О.**, не виявлено.

Поставлені завдання у контексті сформульованої мети досягнуто та доведено до логічного завершення.

Узагальнено, слід відзначити, що дана праця має яскраво виражений прикладний характер і спрямована на вирішення актуального науково-прикладного завдання для економіки держави – підвищення рівня енергетичної безпеки держави.

Відзначаючи загалом достатній науковий рівень дисертаційної роботи **Гринишин К. О.**, слід відзначити, що робота не позбавлена певних зауважень, дискусійних аспектів і рекомендацій, до яких відносяться такі:

1. Формулювання об'єкту дослідження у вступі подано у надто загальному вигляді. Виходячи з назви та мети дисертації, об'єкт дослідження – переробка відходів термопластів. Звідси логічно виникає необхідність корегування предмету дослідження.

2. У другому розділі дисертації автор не достатньо обґрунтовує використання у праці методів термогравіметричного та рентгенофлуоресцентного спектрального аналізів.

3. Третій розділ насичений експериментальними даними, але деякі дані вимагають додаткової інформації для сприйняття. Наприклад, характер кривої на рис. 3.5 вимагає додаткового обґрунтування. Також вимагає додаткового обґрунтування необхідності проведення рентгенофлуоресцентного спектрального аналізу та отримання результатів, наведених у табл. 3.6, 3.12. Яке значення мають ці результати для подальших досліджень? Бракує опису оцінки точності експериментальних даних.

4. У розділі 5 автор описує принципову технологічну схему установки піролізу відходів термопластів (рис. 5.11). Дана схема є продуктом досліджень автора? Репрезентована технологічна схема належить автору чи це удосконалена класична технологічна схема? Як на практиці можна використати ці результати? Чому дана схема не запатентована?

5. У тексті дисертації зустрічаються технічні помилки (описки). Так, наприклад, у третьому розділі автор посилається на термограму зразка відходів полістиролу (рис. 2.3). Правильно, рис. 3.2.

Однак, виявлені невідповідності не знижують науково-практичної цінності дисертаційної роботи. Наукова новизна, практичне значення результатів наявні та їх апробація аргументовані, кількість публікацій цілком достатня та їх зміст відповідають встановленим вимогам і відображають зміст дисертації.

## ЗАГАЛЬНИЙ ВИСНОВОК

Всебічний аналіз дисертаційної роботи **Гринишин К. О.** «Одержання компонентів моторних палив на основі продуктів переробки відходів термопластів» свідчить про те, що вона є завершеною, цілісною самостійною кваліфікаційною працею, логіка та внутрішня структура якої підпорядкована поставленій меті та завданням і вирішує важливе науково-прикладне завдання галузі.

Теоретичне і практичне значення одержаних результатів дисертаційної роботи полягає в тому, що представлені автором висновки й рекомендації знаходяться у контексті розвитку напрямів і пріоритетів інноваційного розвитку країни, зокрема, у сфері енергетичної безпеки, нафтохімії та нафтопереробки, де вирішується завдання раціонального використання цінної вуглеводневої сировини для виробництва компонентів і безпосередньо самих моторних палив.

За сукупністю якісних і формальних ознак щодо актуальності обраної теми, обґрунтованості наукових положень, практичного значення висновків і рекомендацій, їх достовірності й новизни дана дисертаційна робота відповідає вимогам, передбаченим Наказом Міністерства науки та освіти від 12.01.2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертацій» (зі змінами, внесеними Наказом Міністерства освіти і науки № 759 від 31.05.2019) та Постановою Кабінету



Міністрів України від 12.01.2022 р. № 44 «Про затвердження Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» (зі змінами згідно Постанови Кабінету Міністрів України від 03.05.2024 № 507), а її авторка, **Гринишин Ксенія Олегівни**, заслуговує присудження їй наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 161 – Хімічні технології та інженерія (галузь знань 16 – Хімічна інженерія та біоінженерія).

Завідувач кафедри автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів НН ІЕЕ КПІ ім. Ігоря Сікорського, доктор технічних наук, професор, академік Української нафтогазової академії

  
**Сергій БОЙЧЕНКО**  
ЗАСВІДЧУЮ  
Відділ кадрів і архівної справи № 6  
Відділ кадрів і архівної справи  
*Сергій Бойченко*  
підпис

Підпис професора Бойченка **С. В. ЗАСВІДЧУЮ:**  
Вчений секретар КПІ ім. Ігоря Сікорського



**Валерія ХОЛЯВКО**  
*Валерія Холявко*