

<https://doi.org/10.31891/2219-9365-2024-77-28>

УДК 504.3.054

ІВАСЕНКО Віталій

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

<http://orcid.org/0000-0001-8318-7437>

e-mail: [ivasenko-vitaliy@ukr.net](mailto:ivasenko-vitaliy@ukr.net)

ПРИМІСЬКИЙ Ігор

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

<https://orcid.org/0000-0001-5157-4870>

e-mail: [autoeko@faust.net.ua](mailto:autoeko@faust.net.ua)

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ПІРОЛІЗНОГО КОТЛА ДЛЯ ОБІГРІВУ ПРИМІЩЕНЬ

*Проблема поводження з відходами, зокрема таким видом як відпрацьовані автомобільні шини, гостро стоїть перед Україною, Впровадження нових законодавчих норм зобов'язує посилити заходи у сфері поводження з відходами і шукати нові рішення. Розглянуто метод переробки відпрацьованих автомобільних шин, що базується на термічній деструкції (піроліз), та його застосування при побудові піролізних котлів. Розглянуто принцип роботи піролізного котла, що працює на відпрацьованих автомобільних шинах з використанням методу термічної деструкції. Проведено вимірювання масових концентрацій, що викидаються в повітря при роботі піролізного котла. В результаті роботи розглянуто та проаналізовано результати вимірювань та вплив піролізного котла на навколишнє середовище.*

*Ключові слова: : котел, піроліз, автомобільні шини, забруднення.*

IVASENKO Vitalii, PRIMISKY Ihor

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

## RESEARCH OF ENVIRONMENTAL PERFORMANCE OF PYROLYSIS BOILER FOR SPACE HEATING

*The result of active growth in the number of cars is an increase in the number of used car tires accumulated in Ukraine. An imperfect system of accounting and reporting does not allow to properly assess the state of the problem. At the same time, the problem of solid household waste management in Ukraine is urgent. By joining international organizations and implementing their regulatory framework into its legislation, Ukraine undertakes to strengthen measures to solve issues in the field of waste management. In particular, on July 9, 2023, the Law of Ukraine "On Waste Management" entered into force, which gives a start to the development of investment projects in waste management. The hierarchy of waste management includes five levels and is based on the priority of preventing the generation of waste, if it is not possible to prevent the generation, reuse should be applied, the next stage is recycling (processing), when recycling is not possible, other types of waste disposal are used, including operations with energy recovery or processing into materials to be used as fuel.*

*The problem of waste management, in particular such as used tires, is acute for Ukraine. The introduction of new legislative norms obliges to strengthen measures in the field of waste management and look for new solutions. The method of processing used automobile tires based on thermal destruction (pyrolysis) and its application in the construction of pyrolysis boilers are considered. The principle of operation of a pyrolysis boiler operating on used automobile tires using the thermal destruction method is considered. Mass concentrations emitted into the air during operation of the pyrolysis boiler were measured. As a result of the work, the results of measurements and the impact of the pyrolysis boiler on the environment were considered and analyzed.*

*Keywords: boiler, pyrolysis, automobile tires, pollution.*

### Постановка проблеми у загальному вигляді

#### та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Результатом активного зростання кількості автомобілів, є збільшення кількості використаних автомобільних шин, що накопичилися в Україні. Недосконала система обліку та звітності не дозволяє належним чином оцінити стан проблеми. При цьому проблема поводження з твердими побутовими відходами в Україні є актуальною. Долучаючись до світових організацій та проваджуючи їхню нормативну базу в своє законодавство, Україна зобов'язується посилювати заходи на вирішення питань у сфері поводження з відходами. Зокрема 9 липня 2023 року набув чинності Закон України «Про Управління відходами», що дає початок розвитку інвестиційним проектам з управління відходами. Ієрархія управління відходів включає в себе п'ять ступенів і базується на пріоритеті запобігання утворення відходів, якщо не вдається запобігти утворенню повинно застосовуватися повторне використання, наступним етапом є рециклінг (переробка), коли рециклінг неможливий застосовуються інші види утилізації відходів, у тому числі операції із відновлення енергії чи перероблення на матеріали, що будуть використовуватися як паливо.

В Україні щорічно утворюється близько 180 тис. т твердих побутових відходів, з яких перероблюється лише 10%, інша частина відходів вивозиться на полігони та звалище [1]. Таке поводження з відходами породжує нову проблему відчуження земель, забруднення ґрунтів та водойм. Для прикладу у

країнах Європейського Союзу (ЄС) щорічно утворюється 3,19 млн. т твердих побутових відходів, 91 % яких перероблюються, а в результаті отримують матеріал для повторного використання або виробництва енергії.

Одним із перспективних методів переробки відпрацьованих шин, що вже знайшло широке застосування є термічне деструкція (піроліз). В процесі такої обробки під дією високих температур і без доступу кисню, відбувається фізико-хімічне розкладання органічних з'єднань на простіші складові. Крім автомобільних шин цей метод переробки застосовується для відходів які не можуть утилізуватися, в тому числі гумові вироби та пластмаси.

У процесі термічної деструкції автомобільних шин отримуються чотири основні продукти: твердий вуглевмісний залишок (технічний вуглець), рідка фракція (синтетична нафта вуглеводневий конденсат бензинової фракції та мазуту), газова фракція і металевий брухт (залишок металевого корда). В залежності від умов отримання цих матеріалів вони можуть бути повторно використані в різних виробництвах. Так даний метод знайшов своє застосування при побудові піролізних котлів, що працюють на автомобільних шинах, де в якості палива використовується парогазова суміш рідкої та газової фракції. При використанні даних котлів важливим є питання екологічності, що потребує дослідження технологій їх роботи та оцінки впливу на довкілля.

#### **Аналіз досліджень та публікацій**

У світі в останні роки значна увага приділяється проблемі використання автомобільних шин як вторинної сировини після відповідної переробки. Для цього розробляються та впроваджуються різноманітні екологічно прийнятні технології утилізації гумових відходів, які розглянуті в роботах Вамболь В.В., Шахов Ю. В. [2], Крива М.С., Маркіної Л.М. [3], Запорожця О.І., Нікітченко Ю.О. [4], Пляцук Л.Д. [5].

Проблема вибору та застосування екологічно безпечного методу поводження з відходами гумових виробів в Україні є не вирішеною, і базується на досвіді розвинутих країн. Переробка і вторинне використання автомобільних шин є надзвичайно актуальна для України і має велике екологічне та економічне значення.

#### **Формулювання цілей статті**

Метою даної роботи є дослідження екологічних показників піролізного котла, для обігріву приміщень, що працює на відпрацьованих автомобільних шинах з використання методу термічної деструкції.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

1. Розглянути принцип роботи піролізного котла, що працює на відпрацьованих автомобільних шинах з використання методу термічної деструкції.
2. Виконати прямі вимірювання та визначити концентрації забруднюючих речовин, що утворюються при роботі піролізного котла.

#### **Виклад основного матеріалу**

Робота піролізного котла базується на способі термічної деструкції, в процесі якої утворюється парогазова суміш рідкої та газової фракції, яка подається в камеру горіння і використовується для отримання теплової енергії. Під терміном «термічна деструкція» розуміють розклад органічних речовин під дією температури без доступу повітря, в результат чого відбуваються деструкційні перетворення [6].

Структура автомобільних шин являє собою складну багатокомпонентну суміш. При дії температури і відсутності кисню, у шині, спочатку розриваються найбільш слабкі молекулярні з'єднання в полімерних ланцюгах. Продукти розпаду полімерних ланцюгів вступають в повторні реакції між собою, в результаті яких утворюються низько молекулярні і високомолекулярні зв'язки – смоли, важки осмолені залишки і вуглець [5,6,7]. При цьому не відбувається перехід гуми в рідкий стан, вона лише поступово втрачає частину свого складу у вигляді газоподібних продуктів та втрачає еластичність.[6,7]. Склад і фізико-хімічні властивості продуктів при термічній деструкції автомобільних шин змінюється в залежності від температури і тиску в котлі [6]. Часто за критерій оптимальності проведення процесу термічної деструкції приймають максимальний вихід рідкої фракції і вихід газу. Оптимальний температурний діапазон знаходиться в області 380 °С і при цьому отримують наступні продукти:

- твердий вуглевмісний залишок;
- рідка фракція;
- газова фракція;
- металевий брухт (залишок металевого корда).

Печі піролізного типу використовуються для повітряного опалення будівель. Отримана в процесі термічної деструкції парогазова суміш у вигляді рідкої та газової фракції подається в камеру горіння і використовується для нагріву котла. Час роботи на одній шині від легкового автомобіля 6-8 годин. На даний час недостатньо досліджені величини викидів від роботи котлів на даному типі палива і не оцінено екологічність їх використання.

Дослідження проводились на пічці, що в якості палива використовує вторинну сировину яка утворилася в процесі термічної деструкції автомобільних шин. Попередньо підготовлена автомобільна шина завантажується в топку, яка знаходиться навколо камери горіння. На початку для розпалу печки використовувалося відпрацьоване автомобільне мастило. При досягненні температури 200 °С розпочинається процес термічної деструкції автомобільних шин з виділенням парогазової суміші яка подається в камеру горіння.

Піч обладнаний димовою трубою для викиду продуктів згорання. Місцем відбору проб була вибрана вертикальна ділянка димових труб. Параметри джерел викиду котла наведено в таблиці 1. Проводилися вимірювання таких забруднюючих речовин: діоксид азоту (азоту оксид та діоксину азот у перерахунку на діоксин азоту), оксид вуглецю, діоксид сірки та параметрів газопилового потоку (тиск, температура, швидкість та об'ємна витрата). Також визначався вміст кисню в димових газах. Відбір проб і вимірювання проведені відповідно до ДСТУ 8725:2017, ДСТУ 8726:2017, ДСТУ 8812:2018. Для визначення масових концентрацій застосовувався засіб вимірювальної техніки ОКСИ-5М-5НД. Концентрацій забруднюючих речовин представлені в мг/м<sup>3</sup> і приведені до нормальних умов (0 °С, та 760 мм.рт.ст) та стандартного вмісту кисню 3% (рідке та газоподібне паливо).

На рис. 1 наведені результати вимірювання концентрацій (мг/м<sup>3</sup>) забруднюючих речовин, а також зміна температури димових газів.

Таблиця 1

Параметри джерела викиду печі

Параметр	Котел утилізатор
Діаметр, мм	145
Швидкість, м/с	1,34
Об'ємна витрата, нм <sup>3</sup> /с	0,009

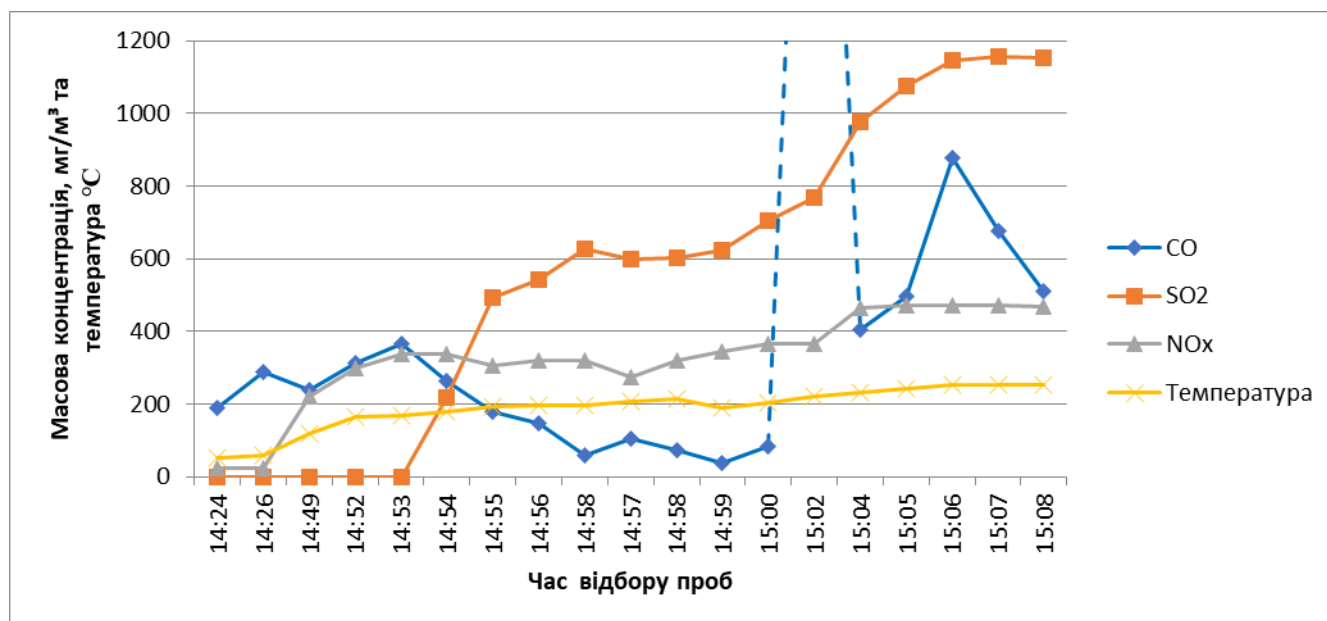


Рис.1. Результати вимірювання середніх концентрацій (мг/м<sup>3</sup>) забруднюючих речовин

Процес розпалу відбувався з використанням відпрацьованого мастила автомобілів і тривав протягом 30 хв. Розпал вважається перехідним процесом і характеризується зростанням температури димових газів і концентрацій забруднюючих речовин. При наближенні температури димових газів до 190 0°С відбулась поява діоксиду сірки з подальшим зростання значення концентрацій до 1155,44 мг/м<sup>3</sup>. Концентрація діоксиду азоту підвищувалася відповідно збільшенню температури і становила 473,55 мг/м<sup>3</sup>. Також при вимірюванні спостерігалось, різке зростання концентрації оксиду вуглецю до 2963,75 мг/м<sup>3</sup>, що суттєво відрізняється від значень отриманих в інші моменти часу, і може вважатися грубо помилковим та бути виключеним з подальших розрахунків. При цій умові, максимальне значення концентрації для оксиду вуглецю становило 877,5 мг/м<sup>3</sup>.

Наявність діоксиду сірки у димових газах, що утворюються в результаті згорання продуктів розпаду гуми, дозволяє віднести його до таких видів палива як дизельне пальне або мазут. Відповідно вплив на довкілля при згоранні даного палива є подібним.

### Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

При застосуванні операції переробки автомобільних шин методом термічної деструкції отримують рідку фракцію (синтетична нафта), газову фракцію, твердий вуглевмісний залишок і металевий брухт. Рідка фракція та газова фракція у вигляді парогазова суміш використовується як паливо для печі опалення. В результаті згорання парогазової суміш в печі опалення, відбувається викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря. До складу елементного вмісту парогазової суміш входять сірчані сполуки, що при використанні її як енергоносія призводить до додаткового забруднення продуктами окиснення сірки. Наявність діоксиду сірки у викидах димових газів, дозволяє віднести продуктів розпаду гуми до таких видів палива як дизельне пальне або мазут. А отже для очищення димових газів можна застосовувати ті ж самі методи, до використовуються при спалюванні дизельного пального або мазуту.

### Література

1. Віддаленого доступу: Global ELT Management – A global state of knowledge on collection rates, recovery routes, and management methods [Електронний ресурс]: – Режим доступу : Proposal\_A4\_3col (wbcsd.org) — 02.2018 р.
2. Вамболь С.А., Шахов Ю. В., Вамболь В. В., Петухов И. И. Математическое описание процессов разделения газовых смесей, образующихся при термической утилизации отходов. Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2016. № 1/2 (79). DOI : 10.15587/1729- 4061.2016.60486
3. Маркіна Л. М. Модельні дослідження переробки органічних відходів методом багатоконтурного піролізу з отриманням альтернативного палива. Зб. наук. праць НУК. Миколаїв. 2008. № 4. С. 101–109, Маркіна Л. М., Крива М. С. Забезпечення екологічної безпеки при термічній утилізації гумо-технічних відходів. Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки. 2019. Т. 30 (69), № 1. С. 41-50.
4. Запорожець О. І., Нікітченко Ю. С. Оцінка екологічних ризиків при складуванні зношених автомобільних шин на звалищах. Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2013. № 2/11. С. 19-24.
5. Пляцук Л.Д. Утилізація гумових відходів/Пляцук Л.Д., Гурець Л.Л., Будьонний О.П. Вісник КДПУ ім. М. Остроградського. 2007. № 5(46). Ч. І.С. 152.
6. Івасенко В.М., Пасічник В.А. Аналіз викидів від роботи утилізаційної установки автомобільних шин. XVII Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність та автоматизація інженерних рішень у приладобудуванні», 07-08 грудня 2021 року, КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна С. 235-238.
7. Рижков С. С., Маркіна Л. М., Крива М. С. Аналіз особливостей фізикохімічних процесів багатоконтурного циркуляційного піролізу органічних відходів. Зб. наук. праць НУК. Миколаїв, 2012. № 5–6. С. 117–123.

### References

1. Remote access: Global ELT Management – A global state of knowledge on collection rates, recovery routes, and management methods [Electronic resource]: – Access mode: Proposal\_A4\_3col (wbcsd.org) — 02.2018
2. Vambol S.A., Shakhov Yu.V., Vambol V.V., Petukhov I.I. Mathematical description of the separation processes of gas mixtures formed during thermal utilization of waste. Eastern European journal of advanced technologies. 2016. No. 1/2 (79). DOI: 10.15587/1729-4061.2016.60486
3. Markina L. M. Model studies of processing of organic waste by the method of multi-circuit pyrolysis with obtaining alternative fuel. Coll. of science works of the National Academy of Sciences. Mykolaiv. 2008. No. 4. P. 101–109, Markina L.M., Kryva M.S. Ensuring environmental safety during thermal utilization of rubber-technical waste. Scholarly notes of V. I. Vernadsky Tavri National University. Series: Technical sciences. 2019. Vol. 30 (69), No. 1. P. 41-50.
4. O. I. Zaporozhets, Yu. S. Nikitchenko. Assessment of environmental risks during storage of used car tires in landfills. East European journal of advanced technologies. 2013. No. 2/11. P. 19-24.
5. Plyatsuk L.D. Utilization of rubber waste/Plyatsuk L.D., Gurets L.L., Budyonnyi O.P. Bulletin of the KDPU named after M. Ostrogradskiy. 2007. No. 5(46). Ch. I.S. 152.
6. Ivasenko V.M., Pasichnyk V.A. Analysis of emissions from the operation of a tire recycling plant. XVII All-Ukrainian Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduate Students and Young Scientists "Efficiency and Automation of Engineering Solutions in Instrumentation", December 07-08, 2021, KPI named after Igor Sikorskyi, Kyiv, Ukraine P. 235-238.
7. Ryzhkov S.S., Markina L.M., Kryva M.S. Analysis of features of physicochemical processes of multi-circuit circulation pyrolysis of organic waste. Coll. of science works of the National Academy of Sciences. Mykolaiv, 2012. No. 5–6. P. 117–123.