

СИСТЕМНІ ЕКОЛОГО-ЕНЕРГЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

SYSTEMIC ENVIRONMENTAL AND ENERGY RESEARCH

УДК 662.75

DOI 10.20535/1813-5420.4.2022.273372

С.Ю. Докшина, аспірант, ORCID 0000-0001-8136-8779
С.В. Бойченко, д-р техн. наук, проф., ORCID 0000-0002-2489-4980
В.П. Розен, д-р техн. наук, проф., ORCID 0000-0002-0440-4251
І.О. Шкільнюк, канд. техн. наук, ORCID 0000-0002-8808-3570
І.О. Куберський, аспірант, ORCID 0000-0002-3800-8484
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

КОНЦЕПЦІЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ТА ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ЧЕРЕЗ УТИЛІЗАЦІЮ ПЛАСТИКОВИХ ВІДХОДІВ І ВІДПРАЦЬОВАНИХ ШИН

Накопичення неутилізованих пластикових відходів та зношених шин становлять велику загрозу для людства. Попри зручності та користь, що приносять вироби з даних матеріалів, їх відходи забруднюють ґрунти та водойми, атмосферу, та становлять загрозу для здоров'я людей. Проблема полягає в тому, що пластик та зношені шини мають досить довгий термін розкладу, а їх переробка потребує значних економічних ресурсів та налагодженої екологістики. Так, щороку до океанів потрапляє більше 8 млн тон пластику, а звалища зношених шин збагачуються на 7 млн тон. Окрім цього, внаслідок воєнних дій, енергетична та екологічна безпеки України знаходяться під загрозою. Масові пожежі, велика кількість утворених відходів на наших землях, ракетні атаки по об'єктах інфраструктури – все це потребує пошуку шляхів підвищення енергетичної та екологічної безпеки. Одним з шляхів підвищення останніх, є утилізація небезпечного пластику та відпрацьованих шин хімічним шляхом, внаслідок чого можливо отримати паливо. Тому, у статті досліджено енергетичний потенціал отримання палива від відходів пластику та зношених шин в Україні. За результатами проведеного дослідження, вже наявний потенціал отримання палива від пластику та зношених шин, що утворились на спеціально облаштованих звалищах до кінця 2020 року становить в середньому 11,31 та 2,56 тис. т палива відповідно. Щорічний потенціал отримання палива, від залишків пластикових відходів становить в середньому 19,56 тис.т палива, а від зношених шин – 6,77 тис. т палива. При налагодженні екологістики зі збору накопичених неутилізованих відходів пластику до 2030 року в середньому можливо отримати 275,07 тис.т палива, а від зношених шин – в середньому 143,59 тис. т. Отримані значення свідчать про те, що налагодження екологістики пластику та зношених шин, сприяє забезпеченню енергоощадності їх використання, покращенню здоров'я людей та тварин, а також підвищенню енергетичної та екологічної безпеки України та економіки підприємств. Дослідження виконуються у рамках проекту «Розроблення технології виробництва нових екологічно безпечних високооктанових авіаційних бензинів із вітчизняної сировини» за рахунок державного бюджету згідно Розпорядження Кабінету Міністрів України від 12 серпня 2022 р. № 713-р «Про затвердження переліку науково-технічних (експериментальних) розробок в рамках виконання державного замовлення на найважливіші науково-технічні (експериментальні) розробки та науково-технічну продукцію у 2022 році» (реєстраційний номер 2020.01/0242).

Ключові слова: паливо з пластику та зношених шин, енергетичний потенціал пластикових відходів, енергетичний потенціал зношених шин, енергоощадність використання пластику та зношених шин, збереження довкілля, енергетична безпека, екологічна безпека, екологістика.

Вступ. Пластикові відходи та відходи зношених шин становлять велику шкоду для людства. Пластик, отриманий шляхом полімеризації сполук, переважно з вихідного палива, залежно від технології виготовлення, в середньому має період розкладу від 80 до 600 років [1]. Окрім цього, пластик загрожує екосистемі океану, його накопичення утворює так звані «пластикові плями», що обмежує доступ до кисню морським тваринам, і, як наслідок, призводить до зменшення їх кількості в океані [1]. Залишки пластику отруюють наземні та підземні води, ґрунти [2]. Окрім цього, неякісний пластик може викликати отруєння у дітей, спричинити різні алергічні реакції у дорослих, або навіть призвести до раку [3]. Набираючи

комерційних обертів після Другої Світової війни, кількість пластикових відходів у світі тільки збільшувалась. Так, більше 8 млн тон пластику потрапляє до океанів щороку [4].

Не меншу шкоду приносять і зношені шини. Окрім того, що час їх розкладання становить 120-140 років [5], вони слугують сприятливим середовищем для розмноження комарів, а отже, і до збільшення випадків інфекційних захворювань. До того ж, велике скупчення шин становить собою загрозу загоряння звалищ, що супроводжуються викидом токсинів, таких як: сажа, діоксини, поліароматичні вуглеводні, миш'як, хром, кадмій та інші хімічні речовини, що призводить до різкого погіршення здоров'я людей, особливо котрі страждають на астму та алергічні захворювання і, в першу чергу, це стосується дітей [6]. За весь час на нашій планеті утворилось близько 25 млн тон шин, та ця цифра зростає щороку на 7 млн тон [7].

Пластик та зношені шини впродовж свого життєвого циклу підпорядковуються різним видам застосування. Так, відслуживши як матеріальні допоміжники у побуті, будівництві, транспорті тощо, окрім переробки для отримання «другого життя» цих виробів, вони також знайшли енергетичне застосування. Так, саме одним з таких енергетичних ресурсів є паливо, що отримане від переробки пластикових відходів та зношених шин.

Внаслідок воєнного вторгнення, Україна опинилась у ситуації порушення енергетичної та екологічної безпеки. Україна вже пережила дефіцит палива навесні, зараз переживаємо дефіцит електроенергії. До того ж, досі залишається загроза ракетних атак по об'єктах інфраструктури. Нафтові заводи не виключення. Більше того, за словами Міністра захисту довкілля та природних ресурсів України Євгенія Федоренко, внаслідок воєнних дій в Україні утворилась величезна кількість відходів, що за масштабами більше ніж на всьому Європейському континенті з часів Другої Світової війни. Так, в Україні знищено більше 200 тисяч легкових та вантажних автомобілів, а внаслідок руйнувань будівель лише на територіях Київської, Сумської та Чернігівської областей утворилось 15,2 млрд тон відходів [8]. До того ж, масові пожежі ще більше порушують екологічну безпеку країни.

Темпи утворення пластикових відходів та зношених шин, їх шкода екосистемі Землі, а також енергетичні та екологічні загрози в Україні, вказують на гостру необхідність пошуків шляхів їх енергоощадного використання. Налагодження «зеленої логістики», або екологістики даних відходів, дозволить зробити перший крок до їх утилізації. Під екологістикою розуміється ефективний мотивований підхід до управління ресурсними потоками не тільки з метою зниження витрат, а й зменшення екодеструктивного впливу на компоненти природного середовища [9]. Окрім сприяння покращення екологічної ситуації, за налагодженою екологістикою існує і економічна вигода, адже перероблені матеріали обходяться значно дешевше за нові. Екологоорієнтоване логістичне управління, що підтверджує економічну вигоду, зображене на рисунку 1.

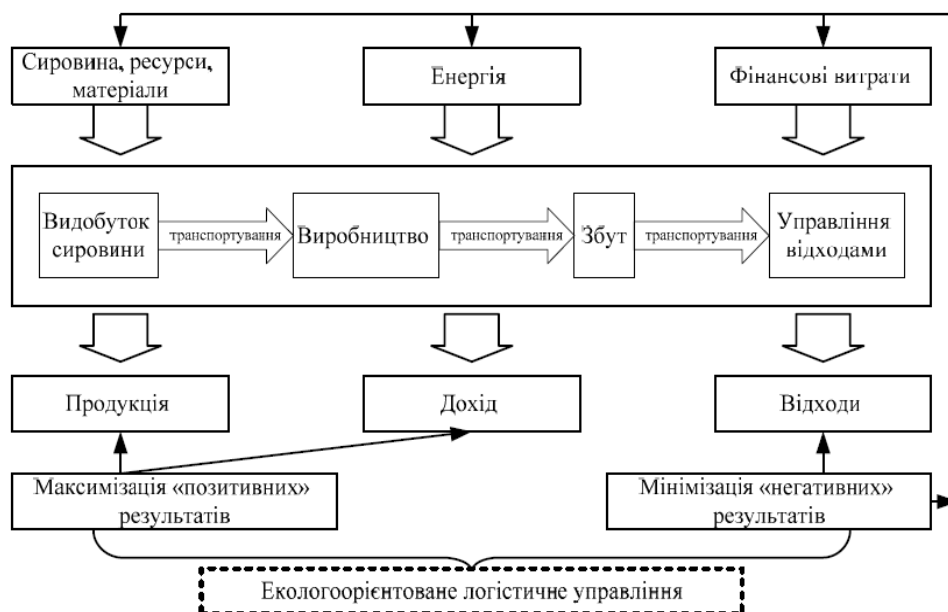


Рисунок 1 – Екологоорієнтоване логістичне управління [9]

Для доведення доцільності налагодження екологістики пластику та зношених шин в Україні задля отримання палива, необхідно оцінити енергетичний потенціал його отримання.

Матеріали та результати досліджень. Метою даної роботи є визначення енергетичного потенціалу перетворення неутілізованих пластикових відходів та зношених шин у паливо для підвищення енергетичної та екологічної безпеки України.

Для досягнення визначеної мети постають наступні **завдання**:

1. Визначити коефіцієнти перетворення пластикових відходів та зношених шин у паливо;
2. Виконати пошук з наявних баз даних утвореної та переробленої кількості пластикових відходів та зношених шин в Україні;
3. Оцінити накопичення залишків пластику та зношених шин в Україні за наявні роки;
4. Визначити енергетичний потенціал від переробки неутилізованого пластику та неутилізованих зношених шин для отримання палива.

Об'єктом дослідження є пластикові відходи та зношені шини в Україні.

Предмет дослідження – поводження з пластиковими відходами та зношеними шинами в Україні, їх залишок для отримання палива.

Енергетичний потенціал перетворення пластикових відходів та зношених шин у паливо

Існують різні технології перетворення **пластику** у паливо, наприклад, піроліз, термохімічна обробка, каталітична конверсія. Встановлено, що застосування піролізу є ефективним методом отримання палива [10]. Піроліз полімерних матеріалів проводиться за температури 400–500°C за обмеженого доступу повітря. Продуктами піролізу є цінні сировинні матеріали: піролізний газ, що не поступається за своїми властивостями природному газу, піролізна смола, що є цінним продуктом для синтезу полімерних матеріалів, і твердий вуглецевий залишок, що витрачається на виготовлення адсорбенту [11].

Залежно від типу пластику, що підлягає піролізу, можливо отримати від 30% до 95% палива. Це значить, що з 10 тон пластикових відходів, можливо отримати від 3 до 9,5 тон палива [12]. Тобто, в середньому, з 1 тони пластику можливо отримати 600 кг палива [13]. Отже, коефіцієнт перетворення пластику у паливо: $k_{\text{пп}} = 0,3 \dots 0,95$ в.о. Потенціал отримання палива від пластику розраховується за формулою 1.

$$N_{\text{пп}} = N_{\text{п}} \cdot k_{\text{пп}} \quad (1)$$

де $N_{\text{пп}}$ – кількість отриманого палива від відпрацьованого пластику, тис. т, $N_{\text{п}}$ – кількість утвореного пластику за розрахунковий період (напр. залишок на кінець року $N_{\text{пласт.кін.року}}$, накопичено на початок року $N_{\text{утв.пласт}}$, накопичено за певну кількість років $\sum N_{\text{пласт.кін.року}}$), тис. т, $k_{\text{пп}}$ – коефіцієнт перетворення пластику у паливо, в.о.

Так само як пластик, **зношені шини** також можуть слугувати джерелом отримання палива. У результаті піролізу зношених шин, утворюються речовини, близькі за складом до продуктів крекінгу нафти що є цінною хімічною та енергетичною сировиною. Піроліз зношених шин відбувається за відсутності або при обмеженому доступі кисню за температури 500–1000°C [11].

Щодо коефіцієнтів перетворення, в різних джерелах говориться по-різному. В залежності від типу шин, шляхом піролізу, можливо отримати від 30% до 45% палива [14], або від 33% до 47% , як стверджують [15]. Прийmemo за діапазони коефіцієнту перетворення зношених шин у паливо найменше та найбільше значення: $k_{\text{шп}} = 0,3 \dots 0,47$ в.о. Тобто, з 1 тони відпрацьованих шин, ми можемо отримати 300–470 кг палива. Потенціал отримання палива від зношених шин розраховується за формулою 2.

$$N_{\text{шп}} = N_{\text{ш}} \cdot k_{\text{шп}} \quad (2)$$

Де $N_{\text{шп}}$ – кількість отриманого палива від зношених шин, тис. т, $N_{\text{ш}}$ – кількість утворених зношених шин за розрахунковий період (напр. залишок на кінець року $N_{\text{шин.кін.року}}$, накопичено на початок року $N_{\text{утв.шин}}$, накопичено за певну кількість років $\sum N_{\text{шин.кін.року}}$), тис. т, $k_{\text{шп}}$ – коефіцієнт перетворення зношених шин у паливо, в.о.

Оцінка енергетичного потенціалу перетворення пластикових відходів в Україні у паливо

За даними Укрстат, до категорії пластикових відходів відносяться відходи пластикової тари; інші пластикові відходи, серед них відходи пластику, пластик і гума, пластикова стружка, плівки для сільськогосподарського призначення [16].

Утворення та поводження із пластиковими відходами в Україні впродовж 2010–2020 років, отриманих із статистичних довідників «Довкілля України», наведено у таблиці 1. Додатково пораховано кількість утвореного пластику на початку року (за формулою 3), а також залишок пластику на кінець року (за формулою 4).

$$N_{\text{утв.пласт}} = N_{\text{утв.рік}} + N_{\text{пласт.кін.року}} \quad (3)$$

де $N_{\text{утв.пласт}}$ – утворено пластику на початку року, тис. т, $N_{\text{утв.рік}}$ – утворено пластику за рік, тис. т, $N_{\text{пласт.кін.року}}$ – залишок неутилізованого пластику на кінець попереднього року, тис. т

$$N_{\text{пласт.кін.року}} = N_{\text{утв.пласт}} - \sum_{i=1}^n N_{i-\text{перетвор.}} \quad (4)$$

де $N_{\text{пласт.кін.року}}$ – залишок неутилізованого пластику на кінець року, тис. т, $N_{\text{утв.пласт}}$ – утворено пластику на початку року, тис. т, $\sum_{i=1}^n N_{i-\text{перетвор.}}$ – сума кількості перетвореного пластику шляхом i -тих операцій перетворення; $i \in [1 \dots n]$, тис. т, $N_{i-\text{перетвор.}}$ – кількість перетвореного пластику за i -ту операцію перетворення; $i \in [1 \dots n]$, тис. т.

Таблиця 1 Утворення та поводження з пластиковими відходами

Рік	Утворилось пластику за рік, тис. т [17-27]	Утворилось неутілізованого пластику на початок року, тис. т (розрахунок)	Утилізовано пластику, тис. т [17-27]	Спалено		Видалено у спеціально відведені місця та об'єкти, тис. т		Залишок пластику на кінець року, тис. т (розрахунок)
				Спалено з метою отримання енергії, тис. т [17-27]	Спалено на суші/з метою теплового перероблення, тис. т [17-27]	Поховання в землі чи скидання на землю, тис. т [17-27]	Скидання у спеціально обладнані звалища, тис. т	
2010	48	–	44,95	0,03	0,17	–		2,85
2011	37,2	40,05	62,3	0,013	0,03	1,7	1,41	-25,403
2012	170,3	170,3	57,3	0,4152	0,0116	1,3449	1,2965	109,9318
2013	39,3	149,2318	55,4	0,3852	0,0877	1,213	1,0059	91,14
2014*	43,7	134,84	39,4	0,0484	2,5605	0,08	1,4349	91,3154
2015	42,9	134,2154	50,7	0,028	2,0523	0,0359	1,12	80,2792
2016	51,9	132,1792	51,4	0	0,6	0	2,6	77,5792
2017	48,6	126,1792	13,8	0,1	0,9	0,2	2,2	108,9792
2018	47,2	156,1792	15,6	0,1	0,3	0,6	2,2	137,3792
2019	50,3	187,6792	15,3	0	0,3	0,4	2,1	169,5792
2020	40,8	210,3792	15,1	0,1	0,2	0,5	2,7	191,7792
						Утворилось на звалищах за 2011-2020 роки	Σ =18,1	

«–» – дані відсутні.

*Починаючи з 2014 року, інформацію наведено без урахування тимчасово окупованої території Автономної Республіки Крим, м. Севастополя та частини тимчасово окупованих територій у Донецькій та Луганській областях.

Кількість пластику, що утворилась у спеціально облаштованих звалищах за 2011-2020 роки становить 18,1 тис. тон, а отже, без налагодження екологістики неутілізованого пластику, вже можливо отримати від 5,43 до 17,2 тис тон палива.

Визначимо потенціал отримання палива від неутілізованих пластикових відходів. Співвідношення річного утворення пластику та утилізованого пластику впродовж 2010-2020 років наведено на рисунку 2.

Дані стосовно пластикових відходів, що наведені у джерелах Укрстат, мають неоднозначний характер. За період 2010-2020 роки [17-27], у 2011, 2013 та 2015 роках кількість утилізованого пластику перевищувала кількість утвореного за рік, а у 2016 році, з утворених 51,9 тис.т пластику, утилізовано 51,4 тис.т, що неможливо не сприймати позитивно. Накопичення неутілізованого пластику у 2011 році (пунктирна лінія) має від'ємне значення. Однак, це лише відображає той факт, що було утилізовано деяку кількість пластику, котра утворилась до 2010 року, чітко виокремлені дані за ці роки, нажаль, відсутні. Надалі, накопичення неутілізованого пластику розраховувалось з 2012 року за формулою 3 (пунктирна лінія).

З рисунку 2 видно, у період 2012-2016 років, накопичення неутілізованого пластику на кінець року йде на спад, але далі, кількість неутілізованого пластику щороку зростає. Починаючи з 2017го року, річне утворення пластику значно перевищує кількість утилізованого. Щорічні залишки пластику, починаючи від 2017 року, складають в середньому 31,3 тис. т, або 67% від утвореного за рік. Отже, щороку є можливість отримувати від 9,39 до 29,74 тис. тон моторного палива, що в середньому становить 19,56 тис. т.

Застосувавши лінійну регресію у середовищі Python для періоду 2016-2020 років, маємо наступний прогноз накопичення неутілізованого пластику (рисунок 3, таблиця 2). Додатково, у таблиці 2 розраховано прогнозний енергетичний потенціал отримання палива на період 2023-2030 рр. за трьома значеннями коефіцієнтів перетворення пластику у паливо (найбільший, найменший, середній).

Відраховуючи з 2012 року, до 2030 року в Україні утвориться 458,5 тис. т неутилізованого пластику, з якого, при налагодженні екологістики, можливо отримати від 137,54 до 435,53 тис. т палива.

Співвідношення річного утворення та утилізації пластику за 2010-2020 рр.

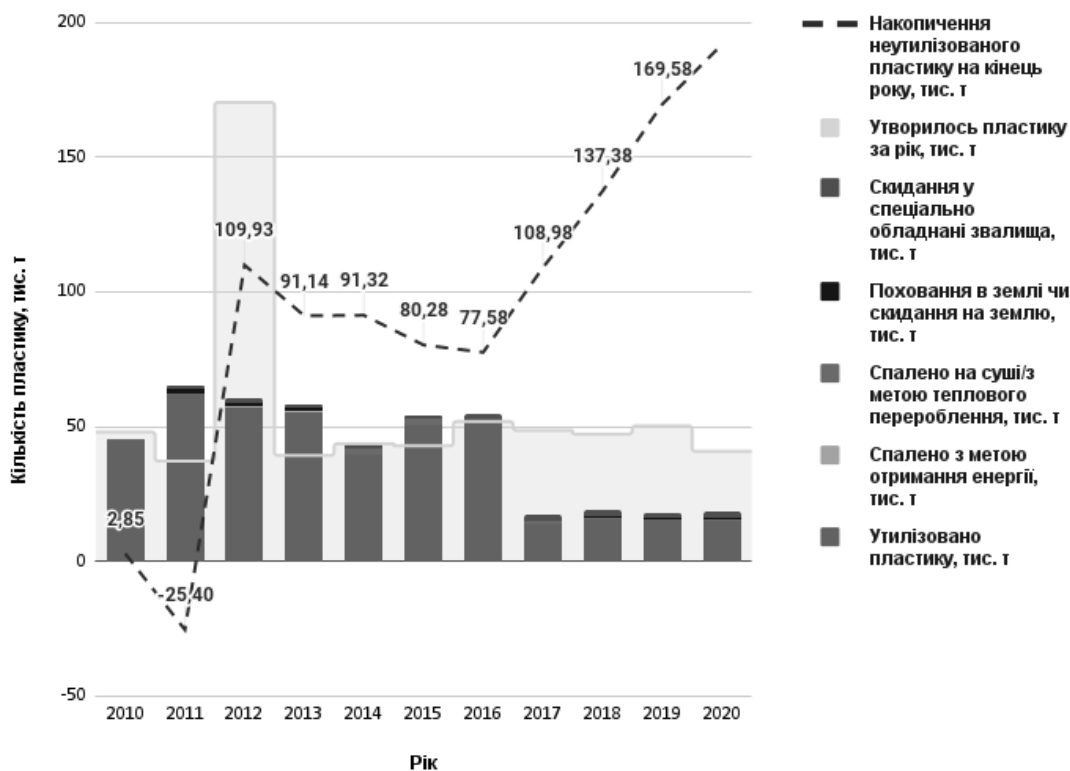


Рисунок 2 – Співвідношення утвореного та утилізованого пластику за 2010-2020 роки

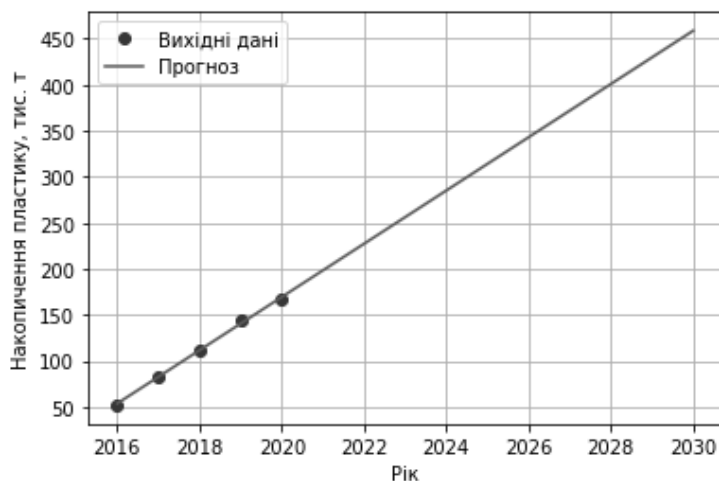


Рисунок 3 – Вихідні дані та прогнольні значення накопичення пластику за результатами лінійної регресії

Оцінка енергетичного потенціалу перетворення зношених шин в Україні у паливо

За даними Укрстат, до гумових відходів відносяться тільки використані, зношені шини [16]. Утворення та поводження із зношеними шинами в Україні впродовж 2010-2020 років, отриманих із статистичних довідників «Довкілля України», наведено у таблиці 3. Додатково пораховано кількість утворених зношених шин на початку року (за формулою 5), а також залишок зношених шин на кінець року (за формулою 6).

Таблиця 2 Прогнозні значення накопичення пластику та енергетичний потенціал отримання палива

Рік	Прогноз накопичення неутилізованого пластику в Україні, тис. т	Потенціал отримання палива, тис.т (формула 1)		
		від ($k_{\text{пп}} = 0,3$)	до ($k_{\text{пп}} = 0,95$)	в середньому ($k_{\text{пп}} = 0,6$)
2023	256,16	76,85	243,35	153,69
2024	285,06	85,52	270,80	171,03
2025	313,96	94,19	298,26	188,37
2026	342,86	102,86	325,71	205,71
2027	371,76	111,53	353,17	223,05
2028	400,66	120,20	380,62	240,39
2029	429,56	128,87	408,08	257,73
2030	458,46	137,54	435,53	275,07

$$N_{\text{утв.шин}} = N_{\text{утв.рік}} + N_{\text{шин.кін.року}} \quad (5)$$

де $N_{\text{утв.шин}}$ – утворених зношених шин на початку року, тис. т, $N_{\text{утв.рік}}$ – утворено зношених шин за рік, тис. т, $N_{\text{шин.кін.року}}$ – залишок неутилізованих зношених шин на кінець попереднього року, тис. т

$$N_{\text{шин.кін.року}} = N_{\text{утв.шин}} - \sum_{i=1}^n N_{i\text{-перетвор.}} \quad (6)$$

де $N_{\text{шин.кін.року}}$ – залишок неутилізованих зношених шин на кінець року, тис. т, $N_{\text{утв.шин}}$ – утворено зношених шин на початку року, тис. т, $\sum_{i=1}^n N_{i\text{-перетвор.}}$ – сума кількості перетворених зношених шин шляхом i -тих операцій перетворення; $i \in [1 \dots n]$, тис.т, $N_{i\text{-перетвор.}}$ – кількість перетворених зношених шин за i -ту операцію перетворення; $i \in [1 \dots n]$, тис.т

Таблиця 3 Утворення та поводження зі зношеними шинами

Рік	Утворилось зношених шин за рік, тис. т [17-27]	Утворилось зношених шин разом з попереднім роком, тис. т (розрахунок)	Утилізовано зношених шин, тис. т [17-27]	Спалено		Видалено у спеціально відведені місця та об'єкти, тис. т		Залишок зношених шин на кінець року, тис. т (розрахунок)
				Спалено з метою отримання енергії, тис. т [17-27]	Спалено на суші/з метою теплового перероблення, тис. т [17-27]	Поховання в землі чи скидання на землю, тис. т [17-27]	Скидання у спеціально обладнані звалища, тис. т [17-27]	
2010	43,5	–	12,912	0,1367	0,0201	–	–	30,432
2011	32,8	63,2317	15,4	0,0514	0,124	0,3136	1,5326	45,81
2012	30,9	76,7101	13,3	0,0736	0,1144	0,4688	1,2568	61,497
2013	29,8	91,2965	8,5	0,0481	0,0578	0,0762	0,4505	82,164
2014*	25,3	107,4639	4,7	0,0842	0,0503	0,08	0,9048	101,65
2015	22,9	124,5493	6,4	0,1354	0,027	0,1008	0,8131	117,07
2016	20,3	137,373	5,6	0	0,1	0,2	0,7	130,77
2017	26,4	157,173	6,1	0,1	0,1	0,4	0,7	149,77
2018	21,9	171,673	7,3	0	0,2	0,3	0,2	163,67
2019	19,5	183,173	1,9	0	0	0,1	0,1	181,07
2020	19,9	200,973	1,2	0	0,1	0,1	0	199,57
						Утворилось на звалищах за 2010-2020 роки	$\Sigma = 6,66$ тис. т	

«–» – дані відсутні. *Починаючи з 2014 року, інформацію наведено без урахування тимчасово окупованої території Автономної Республіки Крим, м. Севастополя та частини тимчасово окупованих територій у Донецькій та Луганській областях.

В середньому, в Україні щороку утворюється 26,7 тис.т зношених шин, з яких в середньому залишається 17,6 тис. т неутилізованих. При налагодженні екологістики, можливо отримувати від 5,27 до 8,26 тис. т палива щороку. Також, на кінець 2020го року на спеціально обладнаних звалищах утворилось 6,66 тис. т зношених шин. А це означає, що вже зараз, без налагодженої екологістики, можливо отримати від 1,99 до 3,13 тис. т палива, що в середньому становить 2,6 тис. т палива. Співвідношення утвореної та утилізованої кількості зношених шин за 2010-2020 роки наведено на рисунку 4.

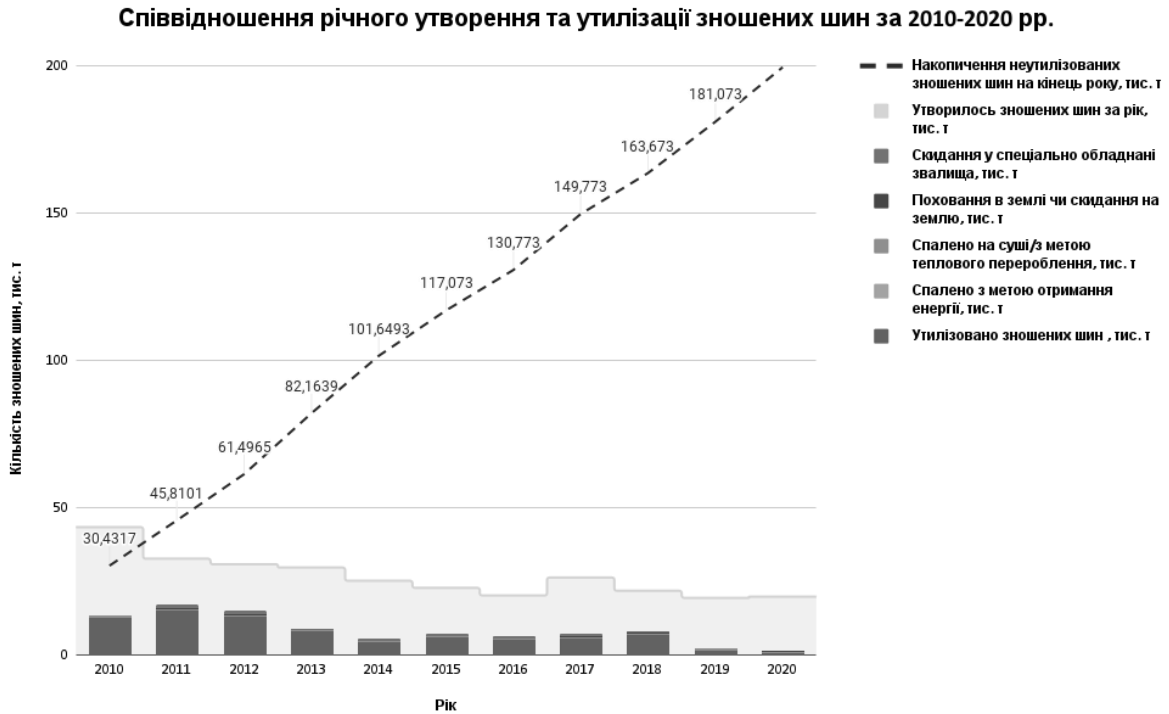


Рисунок 4 – Співвідношення утворених та утилізованих зношених шин за 2010-2020 роки

З рисунка 4 видно, що дані різняться щороку, але спостерігається тенденція перевищення кількості утворених зношених шин над кількістю утилізованих. Накопичення неутилізованих зношених шин щороку зростає (пунктирна лінія).

Прогнозні значення зношених шин, що отримані в результаті лінійної регресії у середовищі Python, зображені на рисунку 5 та таблиці 4.

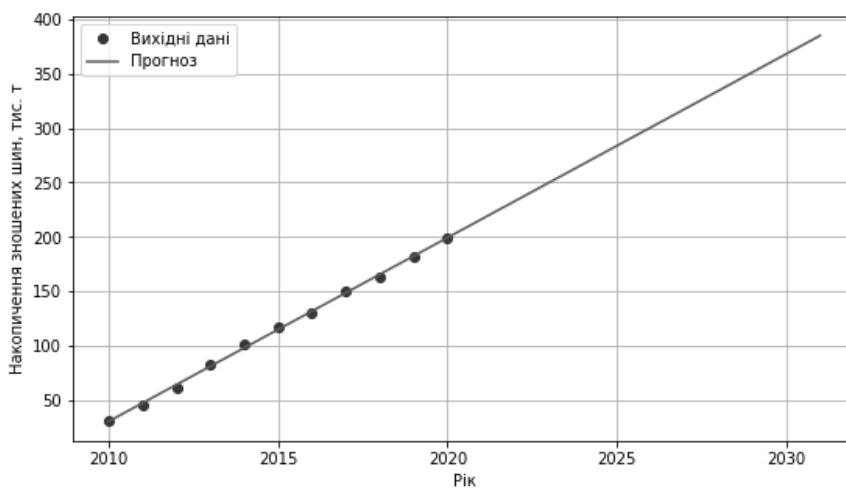


Рисунок 5 – Вихідні дані та прогнозні значення накопичення зношених шин за результатами лінійної регресії

Таблиця 4 Прогнозні значення накопичення неутилізованих зношених шин за результатами лінійної регресії

Рік	Прогноз накопичення неутилізованих зношених шин в Україні, тис. т	Потенціал отримання палива, тис.т (формула 2)		
		від ($k_{\text{шп}} = 0,3$)	до ($k_{\text{шп}} = 0,47$)	в середньому ($k_{\text{шп}} = 0,39$)
2023	249,96	74,99	117,48	97,48
2024	266,85	80,06	125,42	104,07

Продовження табл. 4

Рік	Прогноз накопичення неутилізованих зношених шин в Україні, тис. т	Потенціал отримання палива, тис.т (формула 2)		
		від ($k_{\text{шп}} = 0,3$)	до ($k_{\text{шп}} = 0,47$)	в середньому ($k_{\text{шп}} = 0,39$)
2025	283,73	85,12	133,35	110,65
2026	300,62	90,19	141,29	117,24
2027	317,51	95,25	149,23	123,83
2028	334,39	100,32	157,16	130,41
2029	351,28	105,38	165,10	137,00
2030	368,17	110,45	173,04	143,59

Відраховуючи з 2010 року, до 2030 року в Україні утвориться 368,17 тис. т неутилізованих зношених шин, з котрих, при налагодженні екологістики, можливо отримати від 110,45 до 173,04 тис. т палива.

Висновки. Результати проведених досліджень показали, що потенціал отримання палива від пластикових відходів та зношених шин досить великий.

Потенціал отримання палива від переробки **пластику**, що накопичився на спеціально облаштованих звалищах к кінцю 2020 року, становить від 5,43 до 17,2 тис тон палива. При налагодженні екологістики, щорічно можливо отримувати від 9,39 до 29,74 тис. тон палива. А якщо поведження з пластиковими відходами не зміниться, при налагодженні збору неутилізованого пластику, до 2030 року можливо отримати від 137,54 до 435,53 тис. т палива.

Потенціал отримання палива від переробки **зношених шин**, що утворились на спеціально облаштованих звалищах к кінцю 2020 року становить від 1,99 до 3,13 тис. т палива. При налагодженні екологістики, щороку можливо отримувати від 5,27 до 8,26 тис. т палива від зношених шин. Якщо поведження з утилізацією зношених шин не зміниться, до 2030 року, у разі налагодженні їх збору, можливо отримати від 110,45 до 173,04 тис. т палива.

Знайдені значення потенціалу отримання палива від пластикових відходів та зношених шин вказують на доцільність налагодження екологістики збору та виробництва з перетворення цих відходів у паливо. Ці технологічні рішення сприятимуть підвищенню енергоощадності використання пластику та зношених шин, покращенню здоров'я людей та тварин, підвищенню енергетичної та екологічної безпеки України, а також економіки підприємств.

Список використаної літератури

1. Охрей А., Чим небезпечний пластик для довкілля? *Ecogrizzly*: веб-сайт. URL: <https://ecogrizzly.shop/dangerous-plastic/> (дата звернення: 28.10.2022)
2. Sigler, Michelle. The effects of plastic pollution on aquatic wildlife: current situations and future solutions. – *Water, Air, & Soil Pollution*. – 225.11 (2014):2184
3. Halden, Rolf U. Plastics and health risks. – *Annual review of public health*. – 31 (2010). – P. 179-194
4. R. Geyer, J. R. Jambeck, K. L. Law. Production, use, and fate of all plastics ever made. — *Science advance*. – 2019. – Vol 3, Issue 7. DOI: 10.1126/sciadv.1700782
5. Беш Д., Терміни розкладання сміття на Землі. веб-сайт. URL: <https://ocheninteresno.com/uk/interesting-facts/facts-of-nature/terms-of-decomposition-of-garbage-on-earth/> (дата звернення: 01.11.2022)
6. Бойченко С. В., Іванченко О. В., Лейда Казимір, Фролов В. Ф., Яковлева А. В. (за редакцією професора С. В. Бойченка). Екологістика, рециклінг і утилізація транспорту: навчальний посібник. – К.: НАУ, 2019. – 266 с.
7. Країна вживаних шин. Як впоратися з небезпечними відходами в Україні *Ecobusiness group*: веб-сайт. URL: <https://ecolog-ua.com/news/krajina-vzhivanyh-shyn-yak-vporatysya-z-nebezpechnymy-vidhodamy-v-ukrayini#:~:text=Загалом%20на%20планеті%20накопичилось%20до,звалищах%20або%20просто%20у%20дворах> (дата звернення: 28.10.2022)
8. Відходи війни в Україні вже набули таких масштабів, яких на Європейському континенті не існувало з часів Другої світової війни *Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України*: веб-сайт. URL: <https://mepr.gov.ua/news/40301.html> (дата звернення: 11.11.2022)

9.С. В. Бойченко, К. Лейда, О. В. Іванченко. 2016. Екологістика, утилізація та рециклінг транспортних засобів: тенденції та перспективи розвитку. Наукоємні технології. 2(30). DOI: 10.18372/2310-5461.30.10568

10.Sushma P. Waste plastic oil as an alternative fuel for diesel engine. – *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* – 2018. – Volume 455: 012066

11.Основи енерготехнологій в екологістичному аспекті [Електронний ресурс]: навчальний посібник для здобувачів освітніх ступенів «Бакалавр», «Магістр» за освітніми програмами «Енергетичний менеджмент та інжиніринг теплоенергетичних систем», «Інжиніринг інтелектуальних електротехнічних та мехатронних комплексів» спеціальностей 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», 144 «Теплоенергетика» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Бойченко С. В., Максименко О. Е., Яковлева А. В., Хрутьба В. О., Зюсюн В. І., Данілін О. В. – Електронні текстові дані (1 файл: 6.33 МБ). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 229 с.

12.How much oil can be produced from 10 tons of waste plastic? *Henan doing environmental protection technology co., LTD*: веб-сайт. URL: http://www.bestpyrolysisplant.com/FAQ/Plastic_to_Fuel_Machine/how_much_oil_can_be_produced_from_10_tons_of_waste_plastic144.html (дата звернення: 28.10.2022)

13.How much fuel oil can be extracted from 1T of waste plastics? *Xinxiang Doing Renewable Energy Equipment Co., Ltd*: веб-сайт. URL: <http://www.china-doing.com/faqshow.asp?id=547&mnid=150&classname=pyrolysisplanttechnology#:~:text=Generally%20speaking%2C%201T%20plastic%20can%20getabout%20600KG%20of%20pyrolysis%20oil> (дата звернення: 01.11.2022)

14. How much oil can be obtained from 1 ton of waste tires? *Henan doing environmental protection technology co., LTD*: веб-сайт. URL:

http://www.bestpyrolysisplant.com/FAQ/how_much_oil_can_be_obtained_from_1_ton_of_waste_tires_156.html (дата звернення: 01.11.2022)

15.Yaqoob, H.; Teoh, Y.H.; Sher, F.; Jamil, M.A.; Murtaza, D.; Al Qubeissi, M.; UI Hassan, M.; Mujtaba, M.A. Current Status and Potential of Tire Pyrolysis Oil Production as an Alternative Fuel in Developing Countries. *Sustainability* 2021, 13, 3214. <https://doi.org/10.3390/su13063214>

16.Коментар про віднесення відходів до категорії за матеріалом державного статистичного спостереження № 1-відходи (річна) *Державна служба статистики України*: веб-сайт. URL: <https://ukrstat.gov.ua/druk/coment/answer/answer16.htm> (дата звернення: 01.11.2022)

17. Довкілля України 2010: Статистичний збірник /Державна служба статистики України. – Київ, 2011. – 205 с.

18. Довкілля України 2011: Статистичний збірник /Державна служба статистики України. – Київ, 2012. – 195 с.

19. Довкілля України 2012: Статистичний збірник /Державна служба статистики України. – Київ, 2013. – 234 с.

20. Довкілля України 2013: Статистичний збірник /Державна служба статистики України. – Київ, 2014. – 223 с.

21. Довкілля України за 2014 рік: Статистичний збірник /Державна служба статистики України. – Київ, 2015. – 223 с.

22. Довкілля України за 2015 рік: Статистичний збірник /Державна служба статистики України. – Київ, 2016. – 242 с.

23. Довкілля України за 2016 рік: Статистичний збірник /Державна служба статистики України. – Київ, 2017. – 226 с.

24. Довкілля України за 2017 рік: Статистичний збірник /Державна служба статистики України. – Київ, 2018. – 225 с.

25. Довкілля України за 2018 рік: Статистичний збірник /Державна служба статистики України. – Київ, 2019. – 214 с.

26.Довкілля України 2019: Статистичний збірник /Державна служба статистики України. – Київ, 2020. – 200 с.

27. Довкілля України 2020: Статистичний збірник /Державна служба статистики України. – Київ, 2021. – 189 с.

28.Yakovlieva, A., Boichenko, S., Kale, U., Nagy, A. Holistic approaches and advanced technologies in aviation product recycling // *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*. – 2021. – 93(8). – P. 1302–1312. <https://doi.org/10.1108/AEAT-03-2021-0068>

29.Ivan Bondarenko, Igor Dudar, Olha Yavorovska, Olha Ziuz, Sergii Boichenko, Ihor Kuberskyi, Iryna Shkilniuk, Bohdana Komarysta, Iryna Dzhygyrey, Vladyslav Bendiuh. Devising the technology for localizing environmental pollution during fires at spontaneous landfills and testing it in the laboratory // *Eastern-European*

30.Boichenko, S., Yakovlieva, A., Kale, U., & Nagy, A. (2021). Analysis of technological potential for utilization of waste aviation lubricating materials // *Technology Audit and Production Reserves*. – 2(1(58)). – P. 26–32. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2021.229673>

S. Dokshyna, Ph.D student, **ORCID** 0000-0001-8136-8779,

S. Boichenko, Dr. Sc. Sciences, Prof., **ORCID** 0000-0002-2489-4980

V. Rozen, Dr. Sc. Sciences, Prof., **ORCID** 0000-0002-0440-4251

I. Shkilniuk, Ph.D Sc. Science, **ORCID** 0000-0002-8808-3570

I. Kuberskyi, Ph.D student, **ORCID** 0000-0002-3800-8484

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

THE CONCEPT OF ENHANCING ENERGY AND ENVIRONMENTAL SECURITY THROUGH THE DISPOSAL OF PLASTIC WASTE AND WASTE TIRES

Accumulations of unused plastic waste and waste tires pose a great threat to humanity. Despite the convenience and benefits that products from these materials bring, their waste pollutes soils and water bodies, the atmosphere, and poses a threat to human health. The problem is that plastic and waste tires have a long decomposition time, and their recycling requires significant economic resources and well-established logistics. For example, more than 8 million tons of plastic enter the oceans every year, and used tire landfills are enriched by 7 million tons. In addition, as a result of military actions, the energy and environmental security of Ukraine are under threat. Mass fires, a large amount of generated waste on our lands, missile attacks on infrastructure facilities – all this requires finding ways to increase energy and environmental security. One of the ways to increase the latter is the disposal of dangerous plastic and waste tires by chemical means, as a result of which it is possible to obtain fuel. Therefore, in the article examines the energy potential of obtaining fuel from waste plastic and waste tires in Ukraine. According to the results of the research, the already existing potential for obtaining fuel from plastic and waste tires formed at specially equipped landfills by the end of 2020 amounts to an average of 11,31 and 2,56 thousand tons of fuel, respectively. The annual potential of obtaining fuel from the remains of plastic waste is on average 19,56 thousand tons of fuel, and from waste tires – 6,77 thousand tons of fuel. By 2030, in case of better logistics, it is possible to obtain an average of 275,07 thousand tons of fuel from the collection of accumulated unutilized plastic waste, and an average of 143,59 thousand tons of fuel from waste tires. The obtained values indicate that the improvement of the logistics of plastic and waste tires contributes to ensuring energy saving of their use, improving the health of people and animals, as well as increasing the energy and environmental security of Ukraine and the economy of enterprises.

1. Okhrei A., Chym nebezpechnyi plastyk dlia dovkillia? *Ecogrizzly*. [Online]. Available: <https://ecogrizzly.shop/dangerous-plastic/> Accessed on: October 28, 2022
2. Sigler, Michelle, “The effects of plastic pollution on aquatic wildlife: current situations and future solutions”, –*Water, Air, & Soil Pollution*, 225.11 (2014):2184.
3. Halden, Rolf U., “Plastics and health risks”, *Annual review of public health*, 31 (2010), P. 179-194.
4. **R. Geyer**, **J. R. Jambeck**, **K. L. Law**, “Production, use, and fate of all plastics ever made”, *Science advance*, 2019, Vol 3, Issue 7. DOI: 10.1126/sciadv.1700782.
5. Besh D., Terminy rozkladannia smittia na Zemli. [Online]. Available: <https://ocheniinteresno.com/uk/interesting-facts/facts-of-nature/terms-of-decomposition-of-garbage-on-earth/> Accessed on: November 1, 2022.
6. Boichenko S. V., Ivanchenko O. V., Leida Kazymir, Frolov V. F., Yakovlieva A. V. (za redaktsiieiu profesora S. V. Boichenka). *Ekolohistyka, retsyklinh i utylizatsiia transportu: navchalnyi posibnyk*. K.: NAU, 2019, 266 p.
7. Kraina vzhivanykh shyn. Yak vporatysia z nebezpechnymy vidkhodamy v Ukraini. *Ecobusiness group*. [Online]. Available: <https://ecolog-ua.com/news/krayina-vzhivanyh-shyn-yak-vporatysya-z-nebezpechnymy-vidkhodamy-v-ukrayini#:~:text=Загалом%20на%20планеті%20накопичилось%20до,звалищах%20або%20просто%20у%20дворах> Accessed on: October 28, 2022
8. Vidkhody viiny v Ukraini v zhe nabuly takykh masshtabiv, yakykh na Yevropeiskomu kontynenti ne isnuvalo z chasiv Druhoi svitovoi viiny. *Ministerstvo zakhystu dovkillia ta pryrodnykh resursiv Ukrainy*. [Online]. Available: <https://mepr.gov.ua/news/40301.html> Accessed on: November 11, 2022.
9. S. V. Boichenko, K. Leida, O. V. Ivanchenko, “Ekolohistyka, utylizatsiia ta retsyklinh transportnykh zasobiv: tendentsii ta perspektyvy rozvytku”, *Naukoiemni tekhnologii*, 2016, 2(30). DOI: 10.18372/2310-5461.30.10568
10. Sushma P., “Waste plastic oil as an alternative fuel for diesel engine”, *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, 2018, Volume 455: 012066.

11. Boichenko S. V., Maksymenko O. E., Yakovlieva A. V., Khrutba V. O., Ziuziun V. I., Danilin O. V. *Osnovy enerhotekhnologii v ekolohichnomu aspekti: navchalnyi posibnyk dlia zdobuvachiv osvitnikh stupeniv «Bakalavr», «Mahistr» za osvithnyy prohramamy «Enerhetychny menedzhment ta inzhynirnyh teploenerhetychnykh system», «Inzhynirnyh intelektualnykh elektrotekhnichnykh ta mekhatronnykh kompleksiv» spetsialnosti 141 «Elektroenerhetyka, elektrotekhnika ta elektromekhanika», 144 «Teploenerhetyka». Kyiv: Igor Sikorsky KPI, 2022, 229 p.*

12. How much oil can be produced from 10 tons of waste plastic? *Henan doing environmental protection technology co., LTD.* [Online]. Available: http://www.bestpyrolysisplant.com/FAQ/Plastic_to_Fuel_Machine/how_much_oil_can_be_produced_from_10_tons_of_waste_plastic144.html Accessed on: October 28, 2022

13. How much fuel oil can be extracted from 1T of waste plastics? *Xinxiang Doing Renewable Energy Equipment Co., Ltd.* [Online]. Available: <http://www.china-doing.com/faqshow.asp?id=547&mnid=150&classname=pyrolysisplanttechnology#:~:text=Generally%20speaking%2C%201T%20plastic%20can%20getabout%20600KG%20of%20pyrolysis%20oil> Accessed on: November 1, 2022.

14. How much oil can be obtained from 1 ton of waste tires? *Henan doing environmental protection technology co., LTD.* [Online]. Available: http://www.bestpyrolysisplant.com/FAQ/how_much_oil_can_be_obtained_from_1_ton_of_waste_tires_156.html Accessed on: November 1, 2022.

15. Yaqoob, H.; Teoh, Y.H.; Sher, F.; Jamil, M.A.; Murtaza, D.; Al Qubeissi, M.; UI Hassan, M.; Mujtaba, M.A. “Current Status and Potential of Tire Pyrolysis Oil Production as an Alternative Fuel in Developing Countries”, *Sustainability*, 2021, 13, 3214. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13063214>.

16. Komentar pro vidnesennia vidkhodiv do katehorii za materialom derzhavnoho statystychnoho sposterezhenia № 1-vidkhody (richna). *Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy.* [Online]. Available: <https://ukrstat.gov.ua/druk/coment/answer/answer16.htm> Accessed on: November 1, 2022.

17. Dovkillia Ukrainy 2010: Statystychnyi zbirnyk. *Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy*, Kyiv, 2011, 205p.

18. Dovkillia Ukrainy 2011: Statystychnyi zbirnyk. *Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy*, Kyiv, 2012, 195p.

19. Dovkillia Ukrainy 2012: Statystychnyi zbirnyk. *Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy*, Kyiv, 2013, 234p.

20. Dovkillia Ukrainy 2013: Statystychnyi zbirnyk. *Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy*, Kyiv, 2014, 223p.

21. Dovkillia Ukrainy za 2014 rik: Statystychnyi zbirnyk. *Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy*, Kyiv, 2015, 223p.

22. Dovkillia Ukrainy za 2015 rik: Statystychnyi zbirnyk. *Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy*, Kyiv, 2016, 242 p.

23. Dovkillia Ukrainy za 2016 rik: Statystychnyi zbirnyk. *Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy*, Kyiv, 2017, 226 p.

24. Dovkillia Ukrainy za 2017 rik: Statystychnyi zbirnyk. *Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy*, Kyiv, 2018, 225 p.

25. Dovkillia Ukrainy za 2018 rik: Statystychnyi zbirnyk. *Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy*, Kyiv, 2019, 214 p.

26. Dovkillia Ukrainy 2019: Statystychnyi zbirnyk. *Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy*, Kyiv, 2020, 200p.

27. Dovkillia Ukrainy 2020: Statystychnyi zbirnyk. *Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy*, Kyiv, 2021, 189 p.

28. Yakovlieva, A., Boichenko, S., Kale, U., Nagy, A. “Holistic approaches and advanced technologies in aviation product recycling”, *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, 2021, 93(8), P. 1302–1312. DOI: <https://doi.org/10.1108/AEAT-03-2021-0068>.

29. Ivan Bondarenko, Igor Dudar, Olha Yavorovska, Olha Ziuz, Sergii Boichenko, Ihor Kuberskyi, Iryna Shkiliuk, Bohdana Komarysta, Iryna Dzhygyrey, Vladyslav Bendiih. “Devising the technology for localizing environmental pollution during fires at spontaneous landfills and testing it in the laboratory”, *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2021, № 6 (144), P. 51–84. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.248252>.

30. Boichenko, S., Yakovlieva, A., Kale, U., & Nagy, A. “Analysis of technological potential for utilization of waste aviation lubricating materials”, *Technology Audit and Production Reserves*, 2021, 2(1(58)), P. 26–32. DOI: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2021.229673>.

Надійшла 21.11.2022

Received 21.11.2022