

**НАУКОВА РОБОТА****АНАЛІЗ ЕКОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПАЛИВНИХ СУМІШЕЙ  
ПЕЛЕТИ-ЗНОШЕНІ ШИНИ**

2020

## АНОТАЦІЯ

Об'єкт дослідження – паливна суміш вуглля- пелети-гумова крихта.

Актуальність роботи обумовлена необхідністю утилізації відходів зношених шин а також зменшенням емісії токсичних речовин при спалюванні твердого палива.

Мета роботи – визначити оптимальний склад паливних сумішей вугілля-деревні пелети-гумова крихта, при застосуванні яких емісія токсичних речовин не збільшується у порівнянні зі спалюванням вугілля.

Задачі роботи: проаналізувати сучасний досвід суспільного спалювання вугілля і пелет в світі та Україні; визначити екологічні характеристики палив, які впливають на емісію токсичних речовин; провести порівняльний аналіз властивостей вугілля та гумової крихти та проаналізувати особливості їх суспільного спалювання у енергетичних пристроях середньої та малої потужностей; провести оцінку екологічних показників використання паливних сумішей вугілля-пелети-гумова крихта.

Метод дослідження – теоретичний, розрахунковий.

У першому розділі роботи розглянуті технології спільного спалювання пелет та вугілля в світі. Визначено, що рівень розвитку ринку пелет в Європі значно перевищує український рівень, проте, і в Україні він росте і має хороші прогнози завдяки ряду переваг використання саме цього виду палива. У другому розділі проведена оцінка параметрів, які впливають на процеси спалювання. Проаналізовано фізико-хімічні властивості гумової крихти у порівнянні з вугіллям. Визначено, що гумова крихта має меншу зольність та вологість, ніж вугілля, що дозволяє рекомендувати її використання у сумішах замість вугілля. У третьому розділі проведена оцінка екологічних показників паливних сумішей вугілля-пелети-гумова крихта на енергетичних об'єктах. Показано принципову можливість використання паливної суміші вугілля-пелети-гумова крихта в якості альтернативного палива для котелень малої та середньої потужності.

## ЗМІСТ

Вступ.....	3
1 Огляд технологій спільного спалювання пелет та вугілля в світі.....	4
1.1 Аналіз сучасного стану використання пелет у якості палива.....	4
1.2 Аналіз сучасних технологій спільного спалювання пелет та вугілля .....	8
2 Фізико-хімічний аналіз складу та властивостей гумової крихти.....	14
2.1 Технічний аналіз гумової крихти із автопокришок.....	14
2.2 Елементний аналіз гуми.....	16
3 Оцінка екологічних показників використання паливних сумішей вугілля-пелети-гумова крихта на енергетичних об'єктах України малої та середньої потужності.....	17
3.1 Сучасний стан проблем ТЕЦ України малої та середньої потужності.....	17
3.2 Обґрунтування вибору оптимального співвідношення компонентів паливної суміші.....	19
3.3 Розрахунок емісії токсичних речовин при спалюванні різних паливних сумішей.....	21
Висновки.....	28
Перелік посилань.....	28

## ВСТУП

Досвід розвинутих країн світу свідчить, що у стаціонарних енергетичних установках вугілля повністю, або частково може бути замінено на біомасу. З різних видів біомаси найбільший інтерес викликають пелети з деревини. Вони вже декілька років випускаються в Україні, але, головним чином, ідуть на експорт, а не застосовуються у промислових енергетичних установках України. В Україні вугілля з низьким вмістом сірки в основному імпортується. А пелети практично зовсім не містять сірки. Екологічні показники вугільної котельні можуть бути істотно поліпшені при спільному спалюванні вугілля (того ж штибу) і біомаси. Причому, для того, щоб знизити витрати на транспортування, біомасу пропонується використовувати у вигляді гранул (пелет).

Використання пелет є доцільним, як з економічної точки зору, так і з огляду на екологічну безпеку. Сировиною для виготовлення енергетичних гранул є деревина – поновлювальний ресурс, який є природнім акумулятором, що здатний накопичувати велику кількість сонячної енергії протягом тривалого часу. Пелети – один з самих екологічно чистих видів палива. Він не тільки не забруднює навколишнє середовище, але також вирішує проблему утилізації деревних відходів.

Використання замість частки вугілля гумової крихти, яка отримана при утилізації зношених шин, дозволить запропонувати напрям рециклінгу відпрацьованих автомобілів, зокрема, шин. Відомо, що зношені шини з одного боку являються одним з довготривалих забруднювачів довкілля, а з другого боку являються цінною вторинною сировиною. На нашу думку, використання паливних сумішей вугілля - пелети - гумова крихта дозволить одночасно утилізувати відходи шин та зменшити емісію токсичних речовин у повітря. До того ж такі суміші можливо використовувати на діючому обладнанні у котельнях малої та середньої потужності. На нашу думку, цей напрямок є дуже актуальним для України.

## 1.1 Аналіз сучасного стану використання пелет у якості палива

Пелети, або паливні гранули – це поновлюване, екологічно чисте біопаливо, енергія якого, в результаті спалювання, перетворюється в енергію тепла. Сировиною для виробництва пелет являються, в основному, відходи деревообробки та сільського господарства, які раніше потрапляли на смітник.

Агропелети – отримують з відходів сільськогосподарських культур. Вони досить дешеві, але їх головним мінусом вважається вміст великої кількості золи. А це є головною проблемою багатьох котлів, які швидко виходять з ладу через утворення шлаку. Використання агропелет вимагає регулярного очищення від шлаків, тому їх частіше використовують на великих теплових станціях. З точки зору використання в побутових пелетних котлах цей вид гранул ще більш проблематичний: зольність, як правило, ще вище. Можуть виникнути проблеми при транспортуванні: агропелети досить м'які, так що вже після доставки частина з них руйнується. А котли до наявності пилу і дрібних фрагментів пристосовані погано.

Пелети є екологічно найбільш безпечним паливом. По-перше, пелети на противагу традиційних енергоносіїв,  $\text{CO}_2$  – нейтральні. Це означає, що при згорянні пелет звільняється така маса діоксиду вуглецю, яка раніше при зростанні дерева була взята з атмосфери (замкнута циркуляція вуглецю). При згорянні викопних палив навпаки звільняється діоксид вуглецю, який був накопичений раніше. Це веде до підвищення вмісту  $\text{CO}_2$  в нашій атмосфері і, як наслідок, до збільшення парникового ефекту.

По-друге, поряд зі зменшенням викидів діоксиду вуглецю при спалюванні пелет зменшуються викиди діоксиду сірки  $\text{SO}_2$ . Так як цей газ утворює кислотні дощі, то застосування пелет в якості палива дозволяє захистити природу від пошкоджень, які наносить кислота.

По-третє, екологічні транспортні ризики для пелет вкрай малі. Небезпека вибухів, пожеж і забруднень підземних вод на складах пелет істотно менше, ніж на складах вуглеводневого палива.

У світі зараз виробляється більше 15 млн. т. деревних пелет на рік (без урахування агропелет). У тому числі в Європі – близько 9 млн. т., в РФ – близько 1 млн. т., в США – 2,8 млн. т., в Канаді – 1,4 млн. т. За останні кілька років заводи з випуску деревних гранул з'явилися в таких країнах, як Франція, Болгарія, Іспанія, де раніше взагалі не знали, що таке пелети. В одній тільки Німеччині 53 заводи виробляють 1,7 млн. т. пелет на рік (технічна можливість – 2,4 млн. т. в рік), з яких 1,1 млн. використовується на внутрішньому ринку. У 2010-2011 роках в цій країні стали до ладу ще 9 заводів загальною продуктивністю 598 тис. т. в рік [2].

Світовий ринок пелет, зокрема європейський, стрімко зростає в останні роки. Це викликано, в першу чергу, високою вартістю основних традиційних джерел енергії: палива і газу, їх дефіцитом в деяких країнах і проблемами глобального потепління [3].

Італія займає перше місце в Європі за кількістю працюючих на пелетах котлів в приватному секторі – на кінець 2009 року їх налічувалося 740 тисяч. У Німеччині до того ж часу котлів такого типу було тільки 125 тисяч. Сьогодні в ФРН використовується близько 17 млн. котлів і камінів, для яких підходять всі види палива і які працюють як в приватному секторі, так і в комунальній енергетиці. З них 18 % старше 24 років, 70 % – у віці від 10 до 24 років. За потужністю вони розподіляються так: близько 20 % – до 15 кВт, 45 % – від 15 до 25 кВт, 20 % – від 25 до 100 кВт і 15 % – понад 100 кВт. Якщо виходити з цієї статистики, виходить, що частка біопаливних котлів становить менше 1 %. Тобто для зростання їх кількості є величезний потенціал, особливо при заміні старих котлів.

Підвищується попит на пелети і в Азії. Але його задоволенню заважає проблема морських перевезень: останні роки зростає вартість фрахту морських судів для перевезення навалювальних вантажів, на деяких напрямках спостерігається дефіцит тоннажу, пов'язаний зі збільшенням перевезень того ж вугілля і зернових, тому укладання довгострокових контрактів на поставку гранул з Південно-Східної Азії в Європу – великий ризик. Китай і Південна Корея планують побудувати у себе цілу мережу пелетних заводів, продукція

яких буде призначена в основному для потреб внутрішнього ринку. Так, 65,7 % території Південної Кореї покрито лісами, в країні добре розвинена деревообробна промисловість, але в енергетиці багато невирішених проблем, існує постійна залежність від імпорту палива.

У Великобританії річний обсяг споживання деревних гранул швидко зростає. Наприклад, у 2010 році воно складало 500 тис. т., а у 2015 році збільшилося до 3,5 млн. т. Сполучене Королівство стало головним у Європі споживачем цього біопалива.

У Європі застосування гранул активно стимулюється урядами держав. У Швеції, наприклад, пелети зараз використовуються на теплоелектростанціях, в котельних і в приватних будинках. У країні з 2008 року було прийнято кілька законодавчих актів, що сприяють розвитку цього енергетичного напрямку: збільшений податок на викид вуглекислого газу, введені «зелені сертифікати» та різноманітні форми фінансування з боку держави, наприклад, при переведенні котелень з вугілля або нафтопродуктів на паливні гранули урядом субсидується від 30 до 70 % вартості витрат на такий перехід. Вельми показовим є приклад Німеччини, де уряд взяв на себе зобов'язання купувати всю електроенергію, вироблену з використанням ВДЕ (відновлювальні джерела енергії), за цінами, вищими за ринкові протягом 20 років з моменту введення в експлуатацію електростанції.

Експерти прогнозують: до 2020 року щорічна потреба в пелетах в Європі буде в межах від 80 до 135 млн. т. Споживання пелет в індустріальному секторі (вироблення електроенергії) становитиме 60 %, в секторі промислового та центрального опалення житла – 25 % і в приватному секторі – 15 % [2].

В Україні також зростає інтерес до альтернативного виду палива, такого як пелети, зважаючи на постійне підвищення цін на газ і електроенергію, а також у зв'язку з переходом на "зелені" технології і пропаганду екологічно чистих джерел енергії. За останні три роки в Україні були створені компанії з виробництва деревних пелет, які мають достатні потужності для забезпечення внутрішнього ринку.

У зв'язку з цим виробництво пелет в Україні, перш за все, розрахований на експорт, так як обсяг їх споживання в Україні поки не великий і становить близько 5 % від загального обсягу виробництва. Але ця цифра постійно зростає. Рівень розвитку ринку пелет в Європі значно перевищує український рівень. Проте, і в Україні він росте і має хороші прогнози завдяки ряду переваг використання саме цього виду палива. Пелети мають відносно низьку вартість, комфортність використання, легкість транспортування і завантаження, економію на складських витратах (обсяг складу для зберігання пелет в 7 разів менше складу дров). І звичайно, пелети – поновлюване паливо, що не завдає шкоди навколишньому середовищу [5].

1.2 Аналіз сучасних технологій спільного спалювання пелет та вугілля

Сьогодні все більшого поширення набуває практика спільного спалювання викопних видів палива (вугілля) з біопаливом. Особливо широко вона поширена у Великобританії, Польщі, Іспанії та Нідерландах. При спільному спалюванні скорочуються викиди в атмосферу і станції отримують так званий зелений імідж. Наприклад, найбільший енергетичний концерн Electrabel спалює сьогодні на своїх станціях в Бельгії і Голландії більше 2 млн.т. пелет на рік. При спалюванні однієї т кам'яного вугілля концерн отримує 2,5 МВт/год електроенергії. У 2014 року концерн збільшив обсяг споживання пеллет до 3 млн. т. в рік.

Нідерланди і Бельгія разом споживають найбільшу кількість гранул в Європі – 6 млн. т в рік, що складає більше 30 % світового виробництва пелет. Велика частина цього обсягу використовується для спільного спалювання з вугіллям. Однак є приклади, коли вугілля повністю замінюється пелетами. Зокрема, Льєжі (Бельгія) ТЕЦ перевели з вугілля на деревні гранули (400 тис. т в рік). Директива Євросоюзу наказує що входять до нього країнам до 2020 року збільшити частку відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) при виробленні електроенергії до 20 %. Для досягнення поставленої мети, необхідно ширше використовувати технологію спільного спалювання. Тому на європейському пелетному ринку очікуються серйозні зміни в бік його зростання.



У Європі та Північній Америці на теплоелектростанціях, де головним видом пального є вугілля, в останні роки все частіше вживають для спільного спалювання біомасу, в головному деревні паливні гранули (пелети). У зв'язку з цим ринок промислових пелет в Європі виріс за минулий рік на 30 %.

Незважаючи на низьку вартість вугілля в порівнянні з природним газом і пічним паливом (мазутом) навіть в перерахунку на 1 кВт/год виробленої енергії, при використанні вугілля як палива для вироблення енергії існує багато проблем. Основна з них – високий рівень викидів від спалювання – газоподібних і твердих (золи). У більшості держав діють жорсткі вимоги до рівня викидів, допустимих при спалюванні вугілля. У країнах ЄС використовуються жорсткі штрафні санкції до ТЕЦ, що перевищує норми (до 50 євро за кожен вироблений мегават електроенергії на годину). Вихід з цієї ситуації – впровадження різних фільтрів (наприклад, електрофільтрів) в газоходах котлів або спалювання вугілля у вигляді водовугільних суспензій (водовугільне паливо). В останньому випадку через низьку температуру горіння вугілля значно (до 70 %) знижуються викиди оксидів  $\text{NO}_x$ . Зола, яка з'являється при спалюванні вугілля, в ряді випадків може бути застосована в будівельній промисловості. Тут також є проблема: видалення золи відбувається майже завжди способом гідрозоловидалення, що ускладнює її навантаження для транспортування і подальшого використання.

Існує два головних принципи використання промислових пелет для виробництва енергії: ТЕЦ цілком переводять на пелети в якості єдиного виду пального та така, де - пелети вживаються як додаткове пальне.

Половина з 10-12 млн. т. пелет, вироблених раз на рік в світі, вживаються на ТЕЦ для вироблення електроенергії. Така практика знаходить все більше застосування в країнах, які підписали Кіотський протокол: в Бельгії, Нідерландах, Данії, Швеції та Англії.

На ТЕЦ пелети або інша біомаса спалюються разом з головним видом пального (в основному з вугіллям). При додаванні пального з біомаси до основного знижуються викиди вуглекислого газу, сірки і оксидів азоту. При спільному спалюванні можна завжди відмовитися від використання біомаси і

повернутися до спалювання тільки вугілля, тому перехід на цю технологію не містить особливого ризику для власників ТЕЦ. Для застосування в енергоустановках спільного спалювання спресовані продукти повинні в певних варіантах здійснення задовольняти, щонайменше, три критерії. Вони включають: високий енерговміст на обсяг або масу; малозольне виробництво; малий вміст сірки.

У типовій області застосування в спільному спалюванні приблизно 5-20 % за об'ємом (наприклад, приблизно 15 % за обсягом) палива, передбаченого для згоряння в енергоустановки, є спресований матеріал біомаси із залишком, що є вугіллям або іншим викопним паливом.

Існує кілька методів спільного спалювання вугілля і біомаси, а саме [6]: пряме спільне спалювання; непряме спільне спалювання; паралельне спалювання; газифікації біомаси.

В даний час технологія спалювання біопалива достатньо відпрацьована на вітчизняних і зарубіжних установках. Залежно від характеристик біопалива (вологості, гранулометричного складу і вартості) застосовуються різні топкові пристрої. Всі вони мають ті чи інші переваги і недоліки [8].

Для виконання зазначених вище вимог розроблений і впроваджений в практику цілий ряд режимних і конструктивних заходів, які, все ж, не можуть вирішити проблему повністю. Тому останні 15 років ведуться пошуки екологічно чистих технологій спалювання широкої палітри твердого палива, особливо енергетичного твердого палива низької якості і біомаси при спільному спалюванні. У числі таких технологій розробка спалювання твердих видів пального в циркулюючому киплячому шарі при атмосферному тиску [13]. Більш перспективною вважається розробка киплячого і циркулюючого шару при спільному спалюванні біомаси, також промислових і міських відходів в суміші з вугіллям. Це дозволяє відмінно утилізувати відходи і знизити навантаження на навколишнє середовище. Важливим є також та обставина, що в даному випадку можна не використовувати добавки інертного матеріалу (замість нього використовується зола вугілля) і зменшити витрату вапняку при тому ж вмісті сірки в вугіллі (за рахунок розведення димових газів). Стосовно

до вугілля метод дозволяє відмінно і екологічно безпечно спалювати вугілля різної якості, в тому числі низькосортні, і відходи вуглезбагачення. Розробка презентабельна також можливістю створення малогабаритного топкового обладнання та автоматизації топкового процесу. Разом з тим ефективність спалювання вугілля в киплячому шарі знаходиться в залежності від виконання певних вимог до пального і самого процесу.

Є цілий ряд схем, що реалізують технологію ЦКШ. Одна з головних думок, реалізованих в котлах з ЦКШ, полягає в тому, що температура киплячого шару невисока – 820-900 °С. При такій температурі утворення оксидів азоту йде дуже повільно. Зауважимо, що в факельних пиловугільних топках температура горіння досягає 2000 °С. У свою чергу, низька температура горіння забезпечується великими розмірами частинок вугілля (від 2 до 25 мм.) і їх роз'єднаністю в киплячому шарі, на відміну від процесу пиловугільного спалювання, при якому розмір пилових частинок приблизно 200 мкм.

Інша важлива ідея – неодноразова циркуляція гарячої суміші золи, вапняку і порівняно невеликої кількості свіжого палива, яке підводиться. Це забезпечує не тільки непогану сіркоочистку продуктів згоряння, та й значно інтенсифікує процес спалювання.

У технології спалювання в котлах з ЦКШ є ряд принципів переваг в порівнянні з широко використовуваним звичайним факельним спалюванням:

- вона забезпечує: ефективне спалювання низькокалорійних, високозольних видів палива, а також пального з малим вмістом летких речовин, вугілля з високим вмістом золи і води, в результаті чого досягається значна економія допоміжного пального, тому що виключається підсвічування мазутом;
- можливо спалювання палива різної якості в одному і тому ж котлі;
- можливість використання полегшеної схеми підготовки пального (перед подачею в топку ЦКШ досить дроблення, що виключає необхідність вугільних млинів і покращує екологічну обстановку на ТЕС;
- відсутність необхідності в обладнанні для приготуванні вугільного пилу:
  - а) найвищі динамічні властивості, жвавий запуск котла;

б) дієве (більше 90 %) зв'язування оксидів сірки методом подачі вапняку в топку при оптимальній температурі шару близько 870 °С і тривалому часі перебування частинок вапняку в реакційній зоні;

в) низькі викиди оксидів азоту (найменш 200-300 мг/м<sup>3</sup>) без використання спеціальних засобів очистки, які пов'язані з низькою і розміреною температурою шару і надшарового простору при організації ступеневого підведення повітря;

г) дотримання жорстких вимог щодо викидів шкідливих речовин в навколишнє середовище;

д) відсутність окремого сірко- і азотоочисного обладнання, тому що в котлах з ЦКШ вони органічно включені в процес горіння, забезпечує компактність цих котлів, що дуже комфортно для реконструкції діючих ТЕС.

- можливість використання низькосортного пального (зольністю 65 %), наприклад відходів вуглезбагачення;

- робота котлоагрегату в широкому спектрі навантаження: 20-100 % встановленої потужності обладнання.

- техніко-економічні оцінки демонструють, що собівартість електроенергії, що виробляється за допомогою котлів з ЦКШ в енергоблоках 150-200 МВт, також рівень капітальних витрат, витрат на паливо, сервіс і ремонт – на рівні аналогічних показників для пиловугільних котлів з сірко очистки, а як показує світовий досвід, витрати на ремонт і сервіс котлів з ЦКШ і допоміжних систем, зазвичай, нижче, ніж витрати на ремонт і сервіс котлів факельного спалювання з спеціальним обладнанням для очистки від сполук азоту та сірки. Разом з тим недоліками у порівнянні з пиловугільними котлами у котлів з ЦКШ є:

- більш складна система, вони більше схильні до процесів руйнування (ерозії поверхонь нагріву запиленим потоком);

- у них підвищена витрата електроенергії на привід високонапірних вентиляторів для подачі повітря в зону горіння і створення киплячого шару.

Область впровадження котлів з ЦКШ – спалювання низькосортних твердих сортів пального при паропроодуктивності до 250 т/год як на нових ТЕС,

так і на станціях, що проходять модернізацію. У світовій практиці знайшли широке застосування котли з топкою киплячого шару різної потужності. На даний момент в різних країнах експлуатуються понад 200 енергетичних котлів з ЦКШ (в тому числі діє енергоблок потужністю 250 МВт) для спалювання кам'яного і бурого вугілля різних родовищ. На жаль у енергетичній системі України доля котлів за технологією ЦКШ дуже мала [14]. Україна має всі необхідні передумови для поступового впровадження різних технологій спільного спалювання біомаси та традиційних палив. Використання цих технологій дозволить знизити споживання таких дорогих енергоносіїв як вугілля і природний газ і призведе до поліпшення екологічних показників роботи українських електростанцій.

Більшість українських пелетних заводів розташовано в північних областях країни – Чернігівської, Київської та Житомирської. Найбільші виробники – компанії «Екогран» і «ПеллетЕнерго Україна». За даними АПЕУ (асоціація енергоаудиторів) [19], річні виробничі потужності цих підприємств становлять 45 і 50 тис. т. відповідно. Основні покупці пелет в Україні – приватні домогосподарства, в яких встановлені твердопаливні котли. На частку приватників припадає близько 60 % споживання паливних гранул. Решта використовують промислові підприємства (30 %) і реконструйовані комунальні котельні (10 %). На відміну від західних країн, в Україні відсоток пелет вкрай невисокий. В свою чергу Україна відстає від прогресивного Заходу. Для пелетних фабрик також необхідно ввести більш низький тариф на електроенергію, адже в собівартості виробництва паливних гранул витрати на електрику становлять 20-25 %. Що стосується законодавчої колізії, то головна – відсутність можливостей у компаній скористатися пільгами на ввезення обладнання (нульова ставка ПДВ і мита). Ці пільги передбачені чинним законодавством, але через відсутність нормативних актів, наприклад, реєстру обладнання та постанови Кабміну, що закріплюють механізм надання пільг, учасникам ринку вони недоступні. Рішення проблеми для компаній з українською технікою може бути у розвитку виробництв замкнутого циклу: вирубка лісу, переробка деревини, виготовлення і використання пелет, продаж

електроенергії. Ефективність твердого біопалива та пелет вже давно оцінили за кордоном, тому і в нашій державі виробництво паливних гранул при розумній державній політиці може стати не тільки високорентабельним бізнесом, а й рішенням енергетичних проблем країни. Аналіз літератури та аналітичних даних про розвиток ринку пелет у світі та Україні дозволили нам зробити наступні висновки:

- в останнє десятиріччя у всьому світі зростає попит на пелети, які використовуються у якості палива у промислових, комунальних котельнях та приватних будинках;

- головними перевагами пелет є те, що вони відносяться до поновлюваних видів пального, виготовляються з відходів деревини, або сільськогосподарських відходів при їх використанні значно зменшується викид твердих часток та сірки у порівнянні з традиційними твердими видами палива;

- найбільш ефективним засобом є сумісне спалювання твердих видів палива та пелет з деревини;

- сумісне спалювання пелет та вугілля можливо проводити за методами ЦКШ, попередньої газифікації біомаси т факельного засобу;

- енергетичні об'єкти України малої та середньої потужності головним чином обладнані котельними приладами, які працюють за технологією факельного спалювання [19].

## 2 ФІЗИКО-ХІМІЧНИЙ АНАЛІЗ СКЛАДУ ТА ВЛАСТИВОСТЕЙ ГУМОВОЇ КРИХТИ

В задачу досліджень входило проведення порівняльного аналізу екологічних показників при спалюванні вугілля та паливних сумішей, які містять крім вугілля ще і пелети, а також гумову крихту зі зношених шин. Тому необхідно було визначити характеристики гумової крихти зі зношених шин, які впливають на екологічні показники процесів спалювання.

Об'єктом досліджень були відпрацьовані шини легкових автомобілів, виготовлені на основі СКІ–3М каучуку з поліамідним кордом. Бортові кільця

шин, що містять значну кількість металу, відрізалися і надалі не утилізувались. Протектор перетворювали в крихту і досліджували її фізико-хімічні властивості. Для характеристики крихти як палива, необхідно було показати, що теплотворна здатність і екологічні показники гумової крихти, принаймні, не гірші, ніж у вугілля. З цією метою було досліджено теплоту згоряння, хімічний склад золи і газів, що утворюються, технічний аналіз гумової крихти. Результати порівнювалися з аналогічними показниками вугілля марки Т Донецького вугільного басейну, який застосовується для енергетичних цілей.

### 2.1 Технічний аналіз гумової крихти із автопокришок

Технічний аналіз гуми включає визначення в ній вологості  $W$ , зольності  $A$ , виходу летучих речовин  $V$ , виходу і характеру твердого нелетучого залишку, а також загального вмісту сірчистих сполук, перелічених на сірку  $S_t$  [27]. Результати технічного аналізу гуми характеризують практичну її цінність, зокрема, для цілей спалювання. У роботі [31] було визначено основні параметри технічного аналізу вугілля та гумової крихти зношених шин.

Результати технічного аналізу гумової крихти і вугілля марки Т представлені в таблиці 2.1. Таким чином, за визначеними показниками гумова крихта має значно меншу зольність та вологість ніж вугілля. Це дозволяє припустити, що екологічний вплив на довкілля при спалюванні крихти буде менший ніж у вугілля, яке ми досліджували. Вихід летучих речовин складає біля 72 % у розрахунку на суху масу [31].

Таблиця 2.1– Порівняльний технічний аналіз гумової крихти і вугілля

Параметри для аналізу	Гумова крихта, %	Вугільний концентрат марки «Т», %
Волога	0,12	5,6
Зольність	9,27	19,4
Вихід летучих речовин (на пальну масу)	74	48

Це вказує на низьку термічну стійкість органічних і високомолекулярних речовин, які складають покривки. Таким чином, є підстава припускати, що в умовах спалювання палива основна маса органічних речовин буде перетворюватися в малотоксичні низькомолекулярні речовини ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  і т.д.) без утворення проміжних токсичних продуктів неповного окислювання каучуків.

## 2.2 Елементний аналіз гуми

Кількісний елементний аналіз, досить широко використовується при дослідженні гуми [28]. У роботі [31] був визначений вміст  $\text{O}_2$ ,  $\text{H}_2$  та  $\text{S}$  в гумовій крихті, який наведений у таблиці 2.3. Таким чином, за головними енергетичними параметрами твердого палива (вмістом  $\text{C}$  та  $\text{H}$ ) гумова крихта краща ніж вугілля марки Т. За загальним вмістом сірки гумова крихта майже не відрізняється від вугілля марки Т.

Таблиця 2.2 – Порівняльний елементний аналіз гумової крихти та вугілля

Хімічний елемент	Гумова крихта, %	Вугілля марки Т, %
Вуглець, $\text{C}^{\text{daf}}$	84,9	80-85
Водень, $\text{H}^{\text{daf}}$	8,5	5
Азот, $\text{N}^{\text{daf}}$	1,38	1,5-1,6
Кисень, $\text{O}^{\text{daf}}$	1,5	6-8
Сірка, $\text{S}_t^{\text{d}}$	1,2	1,5-3,0

## 3 ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ПАЛИВНИХ СУМІШЕЙ ВУГІЛЛЯ-ПЕЛЕТИ-ГУМОВА КРИХТА

### 3.1 Сучасний стан проблем ТЕЦ України малої та середньої потужності

В Україні основний парк вугільних котлів малої і середньої теплової потужності (до 80 МВт) складають котли ще радянського виробництва з шаровими топками. Для якісного спалювання вугілля в таких топках потрібне сортове енергетичне вугілля з низьким (не більше 10 %) вмістом золи. Тільки



при використанні такого вугілля можна досягти заявлених ККД котлоагрегатів – до 70-75 %. В іншому випадку (при використанні низько реакційного і низькоякісного вугілля) ККД котлів з шаровими топками становить в середньому не більше 50-55 % [29]. В Україні зольність рядового вугілля марок Д, ДГ, Г, Ж, Т, А, Б складає 23-42 %, тобто значно вище, ніж потрібно для ефективної роботи основної маси існуючих вугільних котлів України малої та середньої потужності.

Європейські виробники випускають аналогічне котельне обладнання, яке працює виключно на якісному твердому паливі – вугіллі, яке пройшло збагачення, тому в Європі, на відміну від України, питання необхідності прямого використання низькоякісного вугілля не існує. Якість вугілля продовжує неухильно знижуватися, що не дозволяє ефективно спалювати їх в топках існуючих котлів. Єдиною на сьогодні технологією, яка дозволяє ефективно спалювати низькосортне тверде паливо, є технологія так званого киплячого шару, коли частинки вугілля знаходяться в підвішеному стані, що забезпечує їх швидке і повне згорання. Але у країнах СНД котли з топками киплячого шару серійно не виробляються. Котли європейського виробництва для спалювання низькосортного палива (зокрема, котли з «класичним» низькотемпературним киплячим шаром) мають, як правило, дуже жорсткі обмеження за фракційним складом вугілля, вимагають використання значної кількості інертного матеріалу для утворення киплячого шару, пускових пальників на газу або рідкому паливі, потужних високонапірних вентиляторів, великогабаритних «гарячих циклонів» для осадження циркулюючого матеріалу і, як наслідок, тягнуть за собою значні капітальні та експлуатаційні витрати.

В Україні є приклади впровадження нових технологій при заміні котлоагрегатів старого покоління. Так, на Старобешівській ТЕС вводиться в експлуатацію котел атмосферного циркулюючого киплячого шару за технологією «Лурги» потужністю 210 МВт. Він буде працювати на суміші антрацитів і шламу. Технологія циркулюючого киплячого шару дозволяє спалювати ці палива без використання для підсвічування (стабілізації процесу горіння) природного газу та мазуту з високими екологічними показниками в

діапазоні зміни навантаження енергоблоку від 50 до 100 % номінальної. При реконструкції енергоблоку № 8 на Зміївській ТЕС встановлено котел паропродуктивністю 950 т/год. з «арочною» топкою для спалювання антрацитів і худого вугілля підвищеної зольності. Він виробляє пар з такими параметрами 24,5 МПа і 545 °С. В даний час блок потужністю 325 МВт знаходиться в експлуатації і спалює антрацитовий штиб зольністю 20-25 % в діапазоні зміни навантаження котлоагрегату від 50 до 100 % при використанні для стабілізації горіння не більше 5 % по теплу природного газу [29]. Актуальним в даний час питанням для України є заміна природного газу вугіллям. При цьому варто відзначити, що дійсно відчутний економічний ефект при такій заміні буде при використанні в якості палива або низькорекційного (типу антрацитів і бурого вугілля), або низькоякісних (високозольних і дрібнофракційних) кам'яного вугілля, оскільки такі вугілля значно дешевше якісного енергетичного вугілля і промислових концентратів, збагачених на фабриках.

Камерними топками оснащені котлоагрегати ТЕС України паропродуктивністю до 960 т/год, за винятком котла блоку №4 Старобешівської ТЕС на 670 т/год, реконструйованого з переводом на спалювання антрациту і антрацитового шламу в ЦКШ.

Вмісту сірки, викиди якої з димовими газами в навколишнє середовище зараз істотно обмежуються, в перерахунку на горючу масу палива можна виділити низько- (торф, біо-відходи – до 5 кг/т), середньо- (кам'яне вугілля і антрацит – 10-30 кг/т) і високосірчисте (всі види буровугільної продукції, шлами – більше 40 кг/т) паливо. При спалюванні в нерухомому шарі і в камерних топках викиди  $SO_2$  складають більше 4000 мг/м<sup>3</sup> при нормі викидів 3500 мг/м<sup>3</sup> для діючих котлів і 200 мг/м<sup>3</sup> для нових. Очевидно, що для топок камерних і з нерухомим шаром необхідне сіркоочищення димових газів. Для топок з киплячим і циркулюючим киплячим шаром 90 % і більше сірки може зв'язуватися вапняком, що подається в топку.

Таким чином, в сучасних умовах економічного розвитку Україна не має можливості переобладнати малі та середні котельні на котли, які працюють за сучасною технологією циркулюючого киплячого шару (ЦКШ). Енергетичне

вугілля, яке застосовується в Україні, має велику зольність, яка може досягати і 40 %, що приводить до значних викидів твердих часток та оксидів сірки. З іншого боку, в усьому світі зростає застосування сумісного спалювання вугілля та пелет. Пелети практично не містять сірки та мають дуже малу зольність, тому використання таких сумішей дозволить знизити викиди твердих часток та оксидів сірки у атмосферу на існуючому обладнанні України і при використанні високо зольного вугілля. Але, пелети мають у порівнянні з вугіллям значно меншу теплоту згоряння.

### 3.2 Обґрунтування вибору оптимального співвідношення компонентів паливної суміші

У роботі було вирішено оцінити екологічні показники потрібної суміші вугілля-пелети-гумова крихта. Застосування пелет у такій суміші дозволить знизити кількість викидів твердих часток та діоксидів сірки. Додавання гумової крихти дозволить збільшити теплотворну здатність паливної суміші. Необхідно було визначити такі композиції, які дозволять утилізувати відходи зношених шин та скоротити використання корисних копалин. Для того, щоб не зменшити ефективність виробництва тепла при застосуванні спільного спалювання пелет та вугілля було вирішено додавати у такі суміші ще і гумову крихту, яка утворюється при утилізації зношених шин методом подрібнення.

У роботі використовувалися дослідження подібних паливних сумішей, які відомі з літератури. З літератури відомо, що суміші вугілля та гумової крихти запропоновані у якості паливних сумішей для котелень [30]. Так твердопаливна гранульована композиція відрізняється тим, що в якості вуглецевмісного компонента вводять дисперсний, активований продукт низькотемпературного піролізу відходів гумовотехнічних виробів – пірокарбон з питомою поверхнею 5000-8000  $\text{см}^2/\text{г}$ , в якості рослинних відходів – деревна тирса, а в якості компонента, який інтенсифікує горіння, використовують азотовмісні речовини. Такі речовини вводять у вигляді водного розчину і полімерної добавки при наступному співвідношенні компонентів: пірокарбон – 50-70 %; тирса з деревини – 30-20 %; азотовмісні речовини – 10-5 %. Для підвищення теплоти

згоряння паливних брикетів замість вугілля запропоновано використовувати піролізний шлак.

Також відомий патент на корисну модель альтернативного палива з високою реакційною здатністю, підвищеною тепловою потужністю, з низьким вмістом шкідливих домішок в газових викидах та можливістю утилізації твердих продуктів піролізу, які отримані при переробці відходів ГТВ (гумовотехнічних виробів), наприклад, зношених шин [31].

Таким чином, існує вже декілька запатентованих паливних сумішей, у яких використовується спільне спалювання вугілля, пелет та продуктів переробки відходів гуми у певних співвідношеннях.

Розрахунок викидів забруднюючих речовин при спалюванні палива в котлоагрегатах котельні потужністю 200 кВт був проведений за стандартною методикою визначення емісії токсичних речовин для енергетичних об'єктів малої та середньої потужності до 30 т/год [33]. У розрахунках виходили з того, що за рік така котельня повинна виробляти 11966,4 ГДж тепла в рік при використанні тільки вугілля у якості палива. Маса компонентів у досліджуваних паливних сумішах була розрахована таки чином, щоб при їх використанні можливо було отримати таку ж саму кількість тепла, яку забезпечує чисте вугілля. Для порівняння використовували найкращу марку енергетичного вугілля АШ. Його характеристики отримано з методики [32]. Елементний склад пелет використовували по середнім показникам пелет з деревини, які виготовляються в Україні.

### 3.3 Розрахунок емісії токсичних речовин при спалюванні різних паливних сумішей

Вихідні данні для розрахунку емісії токсичних речовин при спалюванні різних паливних сумішей:

- елементний склад палив, (табл. 3.1);
- теплота згорання вугілля (антрацит АШ) складає 33,24 МДж/кг;
- теплота згорання деревних пелет – 18,6 МДж/кг.

Таблиця 3.1 – Елементний склад палив

Паливо	C, %	H, %	N, %	O, %	S, %	A, %
Вугілля	85	5	1,6	25	1,5	20
Деревні пелети	51	6,1	0,6	42,3	-	0,8
Гумова крихта	85	8,5	1,38	1,5	1,2	9,27

Розрахунки викидів проводяться для наступних забруднюючих речовин:

- Тверді суспендовані частинки;
- Оксид вуглецю CO;
- Оксиди азоту в перерахунку на діоксид азоту NO<sub>2</sub>;
- Оксиди сірки в перерахунку на діоксид сірки SO<sub>2</sub>.

Теплоту згорання гумової крихти розраховували за формулою, кДж/кг:

$$Q_H = 340 \cdot C + 1035 \cdot H - 109 \cdot (O - S) - 25 \cdot W, \quad (3.1)$$

де C, H, O, S – відповідно вміст вуглецю, водню, кисню та сірки, %;

W – вміст води, %.

$$Q_H = 340 \cdot 85 + 1035 \cdot 8,5 - 109 \cdot (1,5 - 1,2) - 25 \cdot 0,12 = 37,7 \text{ МДж/кг.}$$

В розрахунках виходили з того, що котельня потужністю до 30 т/год, яка працює на вугіллі марки АШ [33], повинна виробляти наступну кількість тепла в рік:

$$Q = 33,24 \cdot 360 \cdot 10^3 = 11966400 \text{ МДж,}$$

де 33,24 МДж/кг – нижча теплота згорання вугілля АШ [33];

360 т. – маса вугілля, яка використовується в котельні за рік [33].

В роботі запропоновано частку вугілля замінити деревними пелетами та гумовою крихтою, але це призведе до зменшення кількості тепла, яке виробляється на котельній при використанні самого вугілля. Тому було

розраховано, яку кількість всіх складових паливної суміші необхідно для виробництва такої ж кількості тепла, як при спалюванні вугілля. Маса пелет, яка необхідна для збереження 11966400 МДж тепла в рік, наступна:

$$m_{\text{п}} = 11966400 \div 18,6 = 643354,8 \text{ кг} = 643,4 \text{ т} ,$$

де 18,6 МДж/кг – нижча теплота згорання деревних пелет (середнє значення із таблиці 2.2).

Маса крихти, яка необхідна для збереження 11966400 МДж тепла в рік:

$$m_{\text{к}} = 11966400 \div 37,7 = 317411,1 \text{ кг} = 317,4 \text{ т} ,$$

де 37,7 МДж/кг – нижча теплота згорання гумової крихти (формула 4.1).

Розрахунки викидів забруднюючих речовин проводили згідно з «Методичними вказівками»[33]:

Валовий викид твердих часток в димових газах розраховується за формулою, т/рік:

$$M_{\text{т}} = A \cdot m \cdot \chi \cdot \left(1 - \frac{\eta_{\text{т}}}{100}\right) , \quad (3.2)$$

де  $A$  – зольність палива, в % (табл. 1. [33]);

$m$  – кількість витраченого палива в рік, т;

$\chi$  – безрозмірний коефіцієнт, який характеризує частку летючої золи, що виходить з димовими газами і залежить від типу топки і палива [33];

$\eta_{\text{т}}$  – ефективність золоуловлювачів, % (табл. 3 [33]).

Валовий викид оксиду вуглецю розраховується за формулою, т/рік:

$$M_{\text{CO}} = m \cdot C_{\text{CO}} \cdot \left(1 - \frac{q_3}{100}\right) \cdot 10^{-3} , \quad (3.3)$$

де  $q_3$  – витрати теплоти внаслідок механічної неповноти згорання, % (табл. 4 [33]);

$m$  – кількість витраченого палива, т/рік, (тис.м<sup>3</sup>/рік);

$C_{CO}$  – вихід оксиду вуглецю при спалюванні палива, кг/т., (кг/тис.м<sup>3</sup>):

$$C_{CO} = q_3 \cdot R \cdot Q \quad (3.4)$$

де  $q_3$  – витрати теплоти внаслідок хімічної неповноти згорання, % (табл. 4 [33]);

$R$  – коефіцієнт, що враховує частку витрати тепла внаслідок хімічної неповноти згорання палива, обумовлений наявністю в продуктах згорання оксиду вуглецю ( $R=1$  – для твердого палива,  $R=0,5$  – для газу,  $R=0,65$  – для мазуту);

$Q_H$  – нижня теплота згорання натурального палива (табл. 1 [33]), МДж/кг, МДж/м<sup>3</sup>.

Валовий викид оксидів азоту в перерахунку на діоксид азоту розраховується за формулою, т/рік:

$$M_{NO_2} = m \cdot Q^H \cdot K_{NO_2} \cdot (1 - \beta) \cdot 10^{-3}, \quad (3.5)$$

де  $K_{NO_x}$  – параметр, який характеризує кількість оксидів азоту, що утворюються на один ГДж тепла, кг/ГДж (табл. 5 [33]);

$\beta$  – коефіцієнт, що залежить від ступеню зниження викидів оксидів азоту в результаті прийняття технічних рішень. Для котлів продуктивністю до 30 т/год  $\beta = 0$ .

Валовий викид оксидів сірки в перерахунку на діоксид сірки розраховується за формулою, т/рік:

$$M_{SO_2} = 0,02 \cdot m \cdot S \cdot (1 - \eta'_{SO_2}) \cdot (1 - \eta''_{SO_2}), \quad (3.6)$$

де  $S$  – вміст сірки в паливі, %, [33];

$\eta'_{SO_2}$  – частка оксидів сірки, які зв'язуються летючою золою палива.

Для естонських і ленінградських сланців приймається рівною 0,8; інших сланців – 0,5; вугілля Кансько-Ачинського басейну – 0,2 (Березовських – 0,5); торфу – 0,15; іншого вугілля – 0,1; мазута – 0,02; газу – 0.

$\eta''_{SO_2}$  – частка оксидів сірки, яка уловлюється в золоуловлювачі. Для сухих золоуловлювачів приймається рівною 0.

Згідно з «Методичними вказівками» [33] витрата палива, а саме вугілля, котлоагрегата потужністю 200 кВт., складає 360 т/рік. Тому теплота згорання палива в даному випадку становить 11966400 МДж в рік.

Розрахунок викидів забруднюючих речовин в роботі проведено для наступних видів палива: 100 % деревних пелет; 100 % вугілля (антрацит); 100 % гумової крихти; суміш 1 (90 % вугілля + 10 % пелет); суміш 2 (90 % вугілля + 10 % гумової крихти); суміш 3 (90 % гумової крихти + 10 % пелет); суміш 4 (80 % вугілля + 10 % деревних пелет + 10 % гумової крихти).

3.3.1 Розрахунок викидів забруднюючих речовин при спалюванні 100 % деревних пелет

Валовий викид твердих частинок розраховується за формулою (3.2):

$$M_{m.ч.} = 0,8 \cdot 643,4 \cdot 0,0050 \cdot (1 - 0) = 2,6 \text{ т/рік}$$

Валовий викид оксиду вуглецю розраховується за формулою (3.3):

$$M_{CO} = 37,2 \cdot 643,4 \cdot \left(1 - \frac{2}{100}\right) \cdot 10^{-3} = 23,46 \text{ т/рік,}$$

$$C_{CO} = 2 \cdot 1 \cdot 18,6 = 37,2 \text{ кг/т.}$$

Валовий викид оксидів азоту в перерахунку на діоксид азоту розраховується за формулою (3.5):

$$M_{NO_2} = 0,001 \cdot 643,4 \cdot 18,6 \cdot 0,1 \cdot (1 - 0) = 1,2 \text{ т/рік.}$$

Валовий викид оксидів сірки в перерахунку на діоксид сірки розраховується за формулою (3.6):

$$M_{SO_2} = 0,02 \cdot 643,4 \cdot 0,01 \cdot (1 - 0,1) \cdot 1 = 0,13 \text{ т/рік.}$$

3.3.2 Розрахунок викидів забруднюючих речовин при спалюванні 100 % гумової крихти



Валовий викид твердих частинок розраховується за формулою (3.2):

$$M_{m.ч.} = 9,27 \cdot 317,4 \cdot 0,0011 \cdot (1 - 0) = 3,24 \text{ т/рік.}$$

Валовий викид оксиду вуглецю розраховується за формулою (3.3):

$$C_{CO} = 2 \cdot 1 \cdot 37,7 = 75,4 \text{ кг/т,}$$

$$M_{CO} = 75,4 \cdot 317,4 \cdot \left(1 - \frac{2}{100}\right) \cdot 10^{-3} = 23,45 \text{ т/рік.}$$

Валовий викид оксидів азоту в перерахунку на діоксид азоту розраховується за формулою (3.5):

$$M_{NO_2} = 0,001 \cdot 317,4 \cdot 37,7 \cdot 0,1 \cdot (1 - 0) = 1,2 \text{ т/рік.}$$

Валовий викид оксидів сірки в перерахунку на діоксид сірки розраховується за формулою (3.6):

$$M_{SO_2} = 0,02 \cdot 317,4 \cdot 1,2 \cdot (1 - 0,1) \cdot 1 = 6,86 \text{ т/рік.}$$

### 3.3.3 Розрахунок викидів при спалюванні 100 % вугілля

Валовий викид твердих частинок розраховується за формулою (3.2):

$$M_{m.ч.} = 20 \cdot 360 \cdot 0,003 \cdot (1 - 0) = 21,6 \text{ т/рік.}$$

Валовий викид оксиду вуглецю розраховується за формулою (3.3):

$$C_{CO} = 1 \cdot 1 \cdot 33,24 = 33,24 \text{ кг/т,}$$

$$M_{CO} = 33,24 \cdot 360 \cdot \left(1 - \frac{10}{100}\right) \cdot 10^{-3} = 10,77 \text{ т/рік.}$$

Валовий викид оксидів азоту в перерахунку на діоксид азоту розраховується за формулою (3.5):

$$M_{NO_2} = 0,001 \cdot 360 \cdot 33,24 \cdot 0,1 \cdot (1 - 0) = 1,2 \text{ т/рік.}$$

Валовий викид оксидів сірки в перерахунку на діоксид сірки розраховується за формулою (3.6):

$$M_{SO_2} = 0,02 \cdot 360 \cdot 1,5 \cdot (1 - 0,2) \cdot 1 = 8,64 \text{ т/рік.}$$

3.3.4 Розрахунок викидів при спалюванні суміші 90 % вугілля + 10 % пелет

Для одержання необхідної теплоти згорання даної суміші необхідно 324 т. вугілля і 64,3 т. деревних пелет.

Валовий викид твердих частинок розраховується за формулою (3.2):

$$M^e_{m.ч.} = 20 \cdot 324 \cdot 0,003 \cdot (1 - 0) = 19,44 \text{ т/рік},$$

$$M^n_{m.ч.} = 0,8 \cdot 64,3 \cdot 0,0050 \cdot (1 - 0) = 0,257 \text{ т/рік},$$

$$\sum M_{m.ч.} = 19,44 + 0,257 = 19,7 \text{ т/рік}.$$

Валовий викид оксиду вуглецю розраховується за формулою (3.3):

$$M^e_{CO} = 33,24 \cdot 324 \cdot \left(1 - \frac{10}{100}\right) \cdot 10^{-3} = 9,7 \text{ т/рік},$$

$$M^n_{CO} = 37,2 \cdot 64,3 \cdot \left(1 - \frac{2}{100}\right) \cdot 10^{-3} = 2,3 \text{ т/рік},$$

$$\sum M_{CO} = 9,7 + 2,3 = 12 \text{ т/рік}.$$

Валовий викид оксидів азоту в перерахунку на діоксид азоту розраховується за формулою (3.5):

$$M^e_{NO_2} = 0,001 \cdot 324 \cdot 33,24 \cdot 0,1 \cdot (1 - 0) = 1,08 \text{ т/рік},$$

$$M^n_{NO_2} = 0,001 \cdot 64,3 \cdot 18,6 \cdot 0,1 \cdot (1 - 0) = 0,12 \text{ т/рік},$$

$$\sum M_{NO_2} = 1,08 + 0,12 = 1,2 \text{ т/рік}.$$

Валовий викид оксидів сірки в перерахунку на діоксид сірки розраховується за формулою (3.6):

$$M^e_{SO_2} = 0,02 \cdot 324 \cdot 1,5 \cdot (1 - 0,2) \cdot 1 = 7,8 \text{ т/рік},$$

$$M^n_{SO_2} = 0,02 \cdot 64,3 \cdot 0,01 \cdot (1 - 0,1) \cdot 1 = 0,012 \text{ т/рік},$$

$$\sum M_{SO_2} = 7,8 + 0,012 = 7,812 \text{ т/рік}.$$

Розрахунок викидів забруднюючих речовин при спалюванні сумішів іншого складу проводили аналогічно. Результати розрахунку викидів токсичних речовин для традиційних та альтернативних видів палив представлені в таблиці 3.2. Маса палива, яка використовувалась у розрахунках, в усіх видах палива забезпечувала виробництво однакової кількості тепла 11966400 МДж/кг в рік. Саме таку кількість тепла виробляє типовий котел середньої потужності 200 кВт. Таким чином, як видно з таблиці 3.2 для

отримання такої ж теплоти згорання палива, як при використанні вугілля, деревних пелет необхідно майже в 2 рази більше, ніж вугілля, але при цьому значно знижуються викиди твердих часток та оксидів сірки, а викиди оксиду вуглецю збільшуються.

Таблиця 3.2 – Залежність валових викидів забруднюючих речовин від типу палива (при умові виробництва однакової кількості тепла усіма видами палива)

Паливо	Маса, т	$M_{т.ч.}$ , т/рік	$M_{CO}$ , т/рік	$M_{NO_2}$ , т/рік	$M_{SO_2}$ , т/рік
Вугілля 100 %	360	21,6	10,77	1,2	8,64
Деревні пелети 100 %	643,4	2,6	23,46	1,2	0,13
Гумова крихта 100 %	317,4	3,24	23,45	1,2	6,86
90 % вугілля + 10 % пелет	388,3	19,7	12	1,2	7,812
90 % вугілля + 10 % гумової крихти	355,7	19,76	12	1,2	8,48
90 % гумової крихти + 10 % пелет	350	3,17	23,4	1,2	6,18
80% вугілля+10% гумової крихти + 10 % пелет	376,08	17,4	12,98	1,17	7,4

Найвигіднішим можна назвати заміну вугілля на 100 % гумової крихти, так як її необхідна маса менша, ніж маса вугілля, а також при її використанні зменшуються викиди шкідливих речовин, за винятком викидів оксиду вуглецю – він збільшується. Але пропонувати такий варіант не можна, адже для спалювання гумової крихти в чистому вигляді необхідні спеціальні умови, однією з яких є забезпечення температури горіння в котлі від 1000 °С, а це можливо не на усіх котлах малої та середньої потужності. Також при її спалюванні з'являється неприємний запах. Аналіз світового досвіду сумісного спалювання вугілля та гумових відходів свідчить про те, що при незмінній технології спалювання концентрація гумових відходів у суміші не повинна перевищувати 10 % [31]. Тому найоптимальнішим варіантом є заміна вугілля на паливну суміш вугілля-деревні пелети-гумова крихта, так як маса даної суміші незначно відрізняється від маси вугілля, необхідної для отримання певної теплоти, а маса викидів шкідливих речовин, за винятком оксиду вуглецю, зменшується.

## ВИСНОВКИ

В дипломній роботі були отримані наступні висновки:

1. Проаналізовано світовий досвід спільного спалювання пелет і вугілля в у промислових, комунальних котельнях та приватних будинках малої та середньої потужності. Визначені декілька технологій, які дозволяють сумісно спалювати вугілля та пелети і встановлено, що одна з них – факельне спалювання – являється найбільш поширеною в Україні.

2. Проаналізовано властивості гумової крихти із зношених шин у порівнянні з енергетичним вугіллям України та показано, що її хімічний склад та дані технічного аналізу подібні до енергетичного вугілля марки Т.

3. Проаналізовано сучасний досвід спільного спалювання вугілля та гумової крихти та визначені характеристики гумової крихти, які впливають на емісію токсичних речовин. Запропоновано використовувати у промислових енергетичних пристроях малої та середньої потужності паливну суміш вугілля-пелети-гумова крихта.

4. Проведено розрахунок емісії токсичних речовин від спалювання різних паливних сумішей. Показано принципову можливість використання паливної суміші вугілля-деревні пелети-гумова крихта в якості альтернативного палива для котелень малої та середньої потужності.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. <http://frp-pellets.ru/harakteristiki/>
2. <http://www.proelectro.info/ru/content/detail/4441>
3. И. Н. Сотник, Е. В. Ефремова. Экономическое обоснование использования пеллет в сфере теплоснабжения. Механізм регулювання економіки, 2011, № 4.
4. Рост рынка пеллет в ЕС. Биотопливные пеллеты в страны ЕС. – [Электронный ресурс]. – 2008. – Режим доступа: [www.biobriquette.com](http://www.biobriquette.com).

5. <http://bio-ex.com.ua/news-analiz-bazy-proizvoditelej-drevesnyx-pellet-6.html>
6. <http://eic.in.ua/praktika-sovmestnogo-szhiganiya-burogo-uglya-i-biomassy-na-tes?page=8>
7. <http://www.eko-pellethandel.de/index.php?id=6>
8. Технологии сжигания местных видов твердого топлива Д.т.н. С.М. Шестаков, профессор, Санкт-Петербургский государственный политехнический университет (СПбГПУ), заместитель главного инженера ЗАО «Невэнергопром», г. Санкт-Петербург, А.Л. Аронов, технический директор, ООО «Региональная тепловая компания», г. Красноярск.
9. <http://www.altstu.ru/media/f/Dissertaciya-Golubeva-VA.pdf>
10. <http://lesprominform.ru/jarchive/articles/itemshow/4301>
11. Darren D. Schmidt, Vasu S. Pinapati. Opportunities for small biomass power systems // DOE Contract No. DE-FGO2-99EE35 128.
12. Дунаєвська Н.І., Засядька Я.І., Шупик І. С., Щудло Т. С. Джерело: Екотехнології ресурсозбереження. 2007. № 3 Технології спільного спалювання біомаси та вугілля.
13. Значение правильного выбора топлива для котельных со слоевой системой сжигания Е.П. Волынкина, канд.техн.наук (НП «Экологический региональный центр»), Е.В. Пряничников. (МУП ОРК и ТС).
14. Шестаков С.М. Опыт применения НТВ-технологии сжигания твердого топлива для повышения КПД водогрейного котла и отказа от сжигания мазута/ Новости теплоснабжения. 2009. № 9.