

## ВИКОРИСТАННЯ ВІДХОДІВ У ЯКОСТІ ПАЛИВА В ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМАХ

### Частина 2. Особливості конструкції та експлуатації обладнання для спалювання твердих побутових відходів.

**А.Г. КОЛІЄНКО**, канд. техн. наук, професор,

*Національний університет Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка*

**О.В. ШЕЛЕМАНОВА, Д.Б. БІЛЕЦЬКИЙ**, канд.техн. наук., доцент НУБП

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

**Анотація.** *Приводом для неоднозначної оцінки доцільності використання котельних систем централізованого теплопостачання для спалювання твердих побутових відходів( ТПВ) є специфічний склад ТПВ і особливості процесу їх горіння. Досвід роботи сміттєспалювальних заводів свідчить про необхідність використання для цієї мети спеціального паливоспалювального обладнання і складних систем очистки продуктів згорання. Мета дослідження –визначення умов впровадження систем спалювання ТПВ, які б відповідали вимогам екологічної та економічної ефективності. В основі статті–обговорення результатів експериментальних досліджень процесу спалювання ТПВ і рекомендацій щодо безпечної і ефективної організації такого процесу. Результати досліджень підтверджують, що використання відходів у якості палива вимагає специфічних умов організації процесу горіння, експлуатації паливоспалювальних установок і облаштування систем очистки продуктів згорання.*

**Ключові слова:** *спалювання твердих побутових відходів, очистка продуктів згорання, організація процесу горіння*

Світова політика щодо відходів орієнтована на розвиток технологій замкнутого циклу шляхом отримання із відходів вторинних ресурсів за умови екологічно безпечного поводження з відходами, підвищення рівня рекуперації та використання вторинної сировини. Вона передбачає обмеження одноразового використання товару, та протидію його передчасному старінню; підвищення ремонтоздатності продукції, підвищення ефективності використання енергії та ресурсів; збільшення вмісту вторинної сировини у продуктах, можливість повторного виробництва та високоякісної переробки відходів та ін.

Схвалення Кабінетом Міністрів України «Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 р.»[1] і затвердження «Національного плану управління відходами до 2030 р.»[2] мають наблизити поводження з відходами в Україні до стандартів ЄС.

Закон України «Про управління відходами»[3] декларує принцип оброблення відходів на найближчій установці для їх оброблення, або в місці захоронення з урахуванням екологічної та економічної ефективності. Згідно з Додатком 11А Директиви Ради ЄС 75/442 [4] до переліку проектів, котрі відносяться до утилізації відходів відноситься захід R9В "Використання відходів у якості палива або інші способи отримання енергії".

З огляду на значну кількість ТПВ, що утворюються в Україні щорічно ( до 10 млн. т) а також той факт, що лише близько 94% їх потрапляє на сміттєзвалища значна увага почала приділятися саме енерготехнологічному використанню ТПВ.

При цьому у роботах багатьох авторів створюється ілюзія простоти здійснення процесу спалювання ТПВ мало не в котлах районних котельних. Але це може привести до значних негативних наслідків. В статті аналізується це питання.

Згідно даних [5] до складу невідсортованих відходів входять: деревина – 20%, мотлох – 26%, гума – 6%, пінопласт – 8%, харчові відходи – 40%. Теплота згоряння не відсортованих залишків сміття сягає 3060 ккал/кг(12 800 кДж/кг) при вологості до 35% та зольності до 5% . Елементарний сухий склад сміття згідно [5] наведений в таблиці 1.

Таблиця 1. Елементарний склад ТПВ на суху масу, % мас.

Вид побутових відходів	C	H	O	N	S	Зола
Газети	49,14	6,16	43,03	0,05	0,16	1,52
Картон	43,73	5,7	44,93	0,09	0,21	5,34
Відходи рослинної їжі	49,06	6,62	37,55	1,68	0,2	4,89
Відходиобробки мяса	59,59	7,09	7,76	0,5	1,34	30,09

Але зазначені в таблиці дані наведені на сухий склад, у якому ТПВ в реальних умовах їх спалювання ніколи не будуть перебувати. Вологість ТПВ коливається від 40 до 60%. А за такої вологості уміст усіх компонентів ТПВ суттєво зменшується, як і теплота згорання відходів.

В таблиці 2 наведено дані, котрі були отримані авторами у ході досліджень зі спалювання відсортованої суміші ТПВ, вид якої представлений на рис.1



Рис. 1 Подача палива транспортером із бункера до котла

Таблиця 2. Характеристика і склад ТПВ

Найменування показників	Од. вимір.	Значення показників		Норматив.
		На сухий склад палива	На дійс	

		урахування вологи)	робочий д палива	
Загальна вологість	% мас.	-	<b>43,7</b>	ISO 589-81
Зольність, А	% мас.	10,1	<b>5,68</b>	ISO 1171-97
Загальна сірка, S	% мас.	0,84	<b>0,47</b>	ISO 351-84
Загальний вуглець, С	% мас.	62	<b>34,9</b>	ISO 625-96
Загальний водень	% мас.	7,74	<b>4,2</b>	ISO 625-96
Загальний азот	% мас.	0,22	<b>0,12</b>	ISO 333-83
Загальний кисень	% мас.	19,13	<b>10,77</b>	ISO 1994-76
Загальний хлор	% мас.	1,487	<b>0,81</b>	ISO 587-97
Температура деформації	°C	1310	<b>1310</b>	ISO 540-81
Нижча теплота згорання	ккал/кг	6002	<b>3379</b>	ISO 1928-5
Вища теплота згорання	ккал/кг	7645	<b>4304</b>	ISO 1928-5
Вихід летких речовин	%	93,7	<b>43,2</b>	ISO 562-81

Аналіз даних таблиці свідчить про те, що спалювання ТПВ, має низку викликів, котрі пов'язані як безпосередньо із організацією процесу горіння, так і зі складом продуктів згорання, їх впливом на довкілля і вимогами до систем очищення продуктів згорання від таких установок.

По перше – достатньо низька теплота згорання і високий уміст води в ТПВ, що суттєво ускладнює процес горіння і зменшує кількість теплоти, котру можна отримати при горінні.

По друге – високий уміст сірки у ТПВ, що обов'язково призведе до утворення значної кількості шкідливого сірчистого ангідриду  $SO_2$  у продуктах згорання, який до того ж має сумуючий ефект для усіх компонентів продуктів згорання у ході розрахунку процесу розсіювання в атмосфері. Так, наприклад, концентрація  $SO_2$  у продуктах згорання ТПВ буде становити близько  $2000 \text{ мг/м}^3$ , а годинні викиди  $SO_2$  в атмосферу лише від одного котла теплопродуктивністю 10 МВт будуть становити 4,5 кг (або 108 кг за добу роботи котла). Гранично допустима концентрація  $SO_2$  в атмосфері становить лише  $0,5 \text{ мг/м}^3$ .

Третє – висока зольність ТПВ, що призводить до виносу летучої золи з продуктами згорання в атмосферу, значного забруднення її дисперсною фазою і великого зольного залишку на колосниковій решітці і у підтопковому просторі. За умови достатньо низької температури плавкості золи (див. табл. 2) це призводить, в свою чергу, до утворення шлаку на колосниковій решітці.

Четверте – високий уміст хлору у складі ТПВ. Як відомо, у процесі згорання хлормістких вуглеводнів утворюються ароматичні поліциклічні вуглеводні з умістом хлору - у їх будові лежить багато разів повторене фенольне кільце до якого входить хлор - наприклад 2,5-діхлортіофер, ПХДД і ПХДФ (поліхлордобензо-парадіоксин, поліхлор-добензофуран) - останні дві речовини перераховуються при аналізі на уміст 2,3,7,8-тетрахлордобензо-парадіксина).

Проблема полягає у тому, що ці речовини є канцерогенно активні і дуже токсичні. Ситуація погіршується тим, що, що хлор до відходів входить у виді сполук, які містять хлор, котрий уже зєднаний із фенольним кільцем - так звані галогенфеноли. Саме вони утворюються у ході розкладу органічних відходів і саме завдяки цим сполукам ТПВ має характерний неприємний запах.

Ще одна характерна особливість ТПВ – високий вихід летучих речовин – 43,2 % мас. на робочий склад і 93,7% мас. - на сухий скла. Ця величина у % показує зменшення маси ТПВ відносно її первинної маси після того, як протягом 7 хв. при температурі 850°C навіску із ТПВ покинуть волога і летучі речовини. Таким чином, коксовий залишок на сухий склад палива після виходу летучих становить лише 6-7 % мас. Для порівняння – навіть для торфу вихід коксового залишку становить близько 40% на суху масу палива. Цей факт обов'язково потрібно враховувати при організації процесу горіння.

Усі зазначені особливості потрібно враховувати при вирішенні питань про можливість використовувати ТПВ у якості палива.

Для унеможливлення спрощення питань про організацію процесу горіння і очистку продуктів згорання при спалюванні ТПВ Директивою 2000/76/ЄС "Про спалювання відходів"[6] введено нормативи умісту токсичних інгредієнтів у продуктах згорання відходів у димових трубах. Деякі із них наведено в таблиці 3.

Таблиця 3. Граничні концентрації токсичних інгредієнтів у продуктах згорання пристроїв для спалювання ТПВ<sup>1</sup>.

Назва інгредієнту	Од. вимірювання	Величина	
		при $\alpha = 1,9$ .	при $\alpha = 1,0$
Дисперсні частинки ( зола і сажа)	мг/м <sup>3</sup>	10	19
Хлористий водень HCl		10	19
Фторводень HF		1	1,9
Діоксид сірки		50	95
Оксиди азоту		400	760
Діоксини, фурани		0,1	0,19
Монооксид вуглецю CO		150	285
Органічні зєднання вуглецю		10	19

Згідно[6] аналіз продуктів згорання при спалюванні відходів потрібно обов'язково виконувати на зазначені в таблиці інгредієнти

Згідно прийнятого в Україні ДСТУ EN 15359:2018 Тверде відновлювальне паливо (SRF). Технічні характеристики та класи (EN 15359:2011, IDT), цей

<sup>1</sup> Концентрації шкідливих інгредієнтів у Директиві наведено при концентрації кисню у продуктах згорання паливоспалюючого агрегату  $O_2 = 10\%$  об., що відповідає коефіцієнту розбавлення продуктів згорання відходів  $\alpha = 1,9$ .

перелік також потрібно розширити за рахунок аналізу на уміст ртуті. Вимірювання умісту HCl і HF дозволяється виконувати лише періодично, якщо використовуються системи очищення від цих газів і результатами експлуатації підтверджується незначна концентрація таких інгредієнтів. Дозволяється також скоротити періодичність контролю за важкими металами, діоксинами і фуранами у стічних водах до 2 разів на рік, якщо концентрації таких речовин будуть стійко меншими за допустимі, зазначені у вимогах додатку 4 [6]

У ході досліджень з ефективності спалювання ТПВ було визначено основні характеристики процесу горіння ТПВ і їх суміші з іншим видом палива – біомасою. Частка біомаси змінювалась від 10 до 50%

**Таблиця 4. Основні розрахунки процесу горіння ТПВ**

№	Найменування параметра процесу горіння	Од. вимір.	Величина
1	Теплота згорання палива: - вологість 30% мас. -- вологість 43% мас.	ккал/кг	4201 3500
2	Витрати теплоти для зміни вологості 1 кг палива на 10% : Теплоємність палива вологістю 50% становить 2,77 кДж / кг град. Теплоємність сухого палива - 1,34 кДж / кг град. Ефективність роботи сушила – 30%.	ккал/кг	370
3	Збільшення теплоти згорання при зменшенні вологості палива на 10 %	ккал/кг	600
4	Витрати повітря на повне згорання палива при $\alpha = 1$	м <sup>3</sup> /кг	3,86
5	Об'єм водяної пари у продуктах згорання	м <sup>3</sup> /кг	1,07
6	Об'єм азоту у продуктах згорання	м <sup>3</sup> /кг	3,04
7	Об'єм CO <sub>2</sub> у продуктах згорання	м <sup>3</sup> /кг	0,65
8	Повний об'єм продуктів згорання на 1 кг палива при $\alpha = 1$	м <sup>3</sup> /кг	4,76
9	Уміст трьохатомних газів у продуктах згорання при $\alpha = 1$ - RO <sub>2</sub> max	%	13,7
10	Абсолютна вологість продуктів згорання	г/м <sup>3</sup>	438,5
11	Кількість теплоти, яку можна отримати у конденсаційному теплообміннику за котлом за умови охолодження продуктів згорання з 250 до 80 °С	ккал/кг	263 10% від теплоти згорання палива

Паливо надходило в систему паливоподачі, яка представляла собою бункер, що розміщався нижче рівня землі і транспортер, який доставляв паливо до гідравлічного подавача котла.

Основні результати випробування котла наведено в таблиці 5.

**Таблиця 5. Результати обстеження роботи котла на ТПВ**

№	Назва параметра роботи котла	Од. ви-	Режим роботи котла		
			1	2	3

		мір.			
1	Витрати палива, В	кг /год	450	630	800
2	Теплова потужність котла	кВт	1500	2000	2500
3	Температура відхідних газів за котлом	<sup>0</sup> С	160	175	180
4	Температура на поверхні котла	<sup>0</sup> С	38	40	41
5	Концентрація кисню у продуктах згорання Концентрація CO <sub>2</sub> у продуктах згорання	% об.	16,7 2,78	14,8 4,9	15,4 3,6
8	Коефіцієнт надлишку повітря у продуктах згорання палива	α	4,8	2,72	3,75
9	Складові теплового балансу: - втрати теплоти з відхідними газами, q <sub>2</sub> ; - втрати з хімічним недопалом; - втрати у довкілля; - втрати з механічним недопалом; - загальні втрати теплоти	%	18,1 0,05 3,2 0,5 21,8	11,6 0,16 2,5 0,4 14,7	18,0 0,15 1,6 0,45 20,2
11	Коефіцієнт корисної дії котла	%	78,2	85,3	79,8

Нижче, у таблиці 6 наведено величини дійсних концентрації шкідливих інгредієнтів, зафіксованих в продуктах згорання при спалюванні суміші ТПВ і додаткового виду палива.

**Таблиця 67. Концентрації забруднюючих інгредієнтів на виході із котла**

Назва інгредієнту	Од. вимірювання	величина	
		при α =1,9.	при α =1,0
Дисперсні частинки ( зола і сажа)	мг/м <sup>3</sup>	320	608
Хлористий водень HCl		9,43	18
Фторводень HF		0,8	1,5
Діоксид сірки		1200	2200
Оксиди азоту		210	400
Діоксини		0,08	0,15
Монооксид вуглецю CO		147	280
Органічні зеднання вуглецю		7,9	15

Як видно із вищенаведеної таблиці очищення продуктів згорання є обов'язковим у відношенні до дисперсної фази (сажі і летучої золи), діоксиду сірки, зеднань хлору.

Обмеження щодо забруднення довкілля при спалюванні відходів стосуються не лише газоподібних викидів у атмосферу, а й результатів оброблення продуктів згорання і скидів у воду. Особливі вимоги щодо знешкодження таких органічних речовин, як діоксини згідно з п. 18. Директиви діють лише у разі умісту хлору у відходах більше 1 % масі.

Дослідження процесів горіння показали що повнота згорання палива і мінімальні викиди дисперсної фази при спалюванні відходів можливо за наступних умов:

- забезпечення сталого складу палива на основі ТПВ, що гарантує сталий характер роботи паливоспалювального пристрою;

- наявності достатньо великої поверхні рухомої і регульованої колосникової решітки, яка могла б забезпечити спалювання палива за умови рівномірної подачі палива висотою не більше 20-30 см. При цьому необхідно забезпечити безперервний контроль за висотою палива на поверхні колосників і інформування обслуговуючого персоналу про перевищення цього параметру. Збільшення висоти шару палива призводить до небезпечного збільшення величини теплової напруги колосникової решітки і шлакування золи палива;

- наявності футерованої неекранованої топки, яка повинна бути обладнана додатковими склепіннями для забезпечення високого теплового напруження топкового об'єму і допалювання значної кількості летучих компонентів палива;

- дозованої і контрольованої подачі повітря окремо у кожен із зон топкового простору:

-зону підготовки палива;

-зону газифікації;

-зону догорання летучих речовин.

- багатозонального управління швидкістю руху решітки, що дає можливість управляти кожною стадією горіння. Цьому сприяє також вибір кута нахилу решітки і можливість рециркуляції продуктів згорання.

Усі зазначені вище фактори (зональне управління швидкістю решітки, вибір кута нахилу, рециркуляція продуктів згорання, наявність склепінь і радіаційних поверхонь нагрівання) створюють умови для безперешкодного проходження усіх стадій горіння відходів. Це запобігає утворенню продуктів хімічного недопалу і створює умови для повного вигорання вихідних складних органічних поліциклічних з'єднань, які можуть входити до складу відходів;

Основними факторами, які мають негативний вплив на ефективність роботи паливоспалювального пристрою на біомасі є наступне:

- низька щільність ( густина) палива ( близько 180 кг/ м<sup>3</sup>), або великий питомий об'єм ТПВ, що не дає можливості забезпечити об'ємному пристрою для подачі палива номінальну величину масових витрат палива, необхідну для досягнення паспортної потужності котла. Таким чином необхідно збільшувати продуктивність пристрою для подачі ТПВ до котла і забезпечити можливість подачі достатньої масової кількості палива для унеможливлення втрати теплопродуктивності котла;

- низька температура виходу летучих речовин і високий вихід летучих речовин із палива ( до 93 % від сухої маси палива). В результаті уже на вході палива до котла відбувається інтенсивний вихід летучих речовин із палива.

Шар палива на цій ділянці решітки призводить до неможливості вільного доступу повітря до палива і утворенню значної кількості продуктів хімічного недопалу і продуктів розпаду твердого палива. З огляду на специфіку складу палива до

продуктів неповного згорання палива на цій ділянці входять складні поліциклічні органічні вуглеводні для догорання яких потрібна висока температура топки, наявність окислювального середовища і значний об'єм топки.

- в результаті високого виходу летучих речовин вуглецевий залишок палива практично відсутній. В результаті до 75 % поверхні колосників за зоною газифікації не завантажені паливом. Через цю поверхню колосників надходить значна кількість повітря, яка не приймає участі у процесі горіння. В результаті коефіцієнт надлишку повітря зростає, а разом з ним падає ККД котла.

Необхідно забезпечити можливість автоматичного регулювання кількості первинного і вторинного повітря через зони решітки, які не завантажені паливом. Більшу частину повітря у камері догорання подавати, як вторинне. Забезпечити можливість баластування первинної зони горіння. За допомогою факела додаткового палива забезпечити можливість догорання летучих речовин, продуктів хімічного недопалу і термічної дисоціації палива а також поліциклічних органічних сполук, у разі їх утворення.

Забезпечити температуру продуктів згорання на виході із топки не менше 800 - 850 °С, яка необхідна для процесу догорання. У разі необхідності (при зменшенні температури у реакційній зоні нижче 850 град С) передбачити автоматичне включення комбінованих пальників на газоподібному або рідкому паливі які створюють необхідні згідно директиві WID ЕС умови догорання у вторинній зоні.

Рекомендується спалювати суміш твердих горючих речовин, яка складається із ТПВ і тріски, або відходів сільськогосподарського виробництва, що забезпечить наявність в паливі твердих речовин із тривалим циклом горіння у тому числі у гетерогенній (твердій) фазі. Наявність такого додаткового палива може забезпечити стійкість процесів горіння у топковому просторі, необхідну температуру у зоні горіння, достатню для догорання летких речовин і продуктів дисоціації ТПВ.

Забезпечення сталих характеристик продуктів згорання можливе лише за умови забезпечення сталого складу ТПВ, або їх суміші з іншим паливом.

Згідно[6] спалювання ТПВ або суміші відходів з іншими видами палива, як основного або додаткового виду палива з метою отримання теплоти, відноситься до категорії Директиви, яка класифікується, як "об'єкт спільного спалювання". Отримана у котлі у результаті спалювання відходів теплота більш як на 40% повинна визначатись тепловим потенціалом спалюваних відходів.

При цьому енергетична цінність суміші палив (теплота згорання) не повинна бути меншою за деякі граничні значення.

У ході випробувань відмічалась низька спроможність колосникової решітки пересувати паливо у вигляді відходів по довжині решітки. Рекомендується максимально збільшити кут нахилу решітки двох або трьохзонне регулювання



швидкості руху колосникової решітки для забезпечення більш рівномірного розподілу палива на поверхні горіння.

Величина  $RO_2^{\max}$  для спалюваного палива становить близько 13,6 % об. Тому використання значної частини газоаналізаторів для визначення коефіцієнта надлишку повітря за типовою програмою газоаналізатора а також втрат теплоти з відхідними газами за типовою методикою є неможливим.

Необхідно виконувати ручні розрахунки за зазначеною величиною  $RO_2^{\max}$  і заміряною концентрацією кисню у продуктах згорання.

В конструкції котла необхідно врахувати наявність корозійно активних інгредієнтів у складі продуктів згорання.

Конструкція котла повинна передбачати можливість рециркуляції продуктів згорання або охолодження колосникової решітки для запобігання шлакоутворення на її поверхні.

На рис.2 представлено можливу конструкцію котла, переобладнаного для спалювання ТПВ.

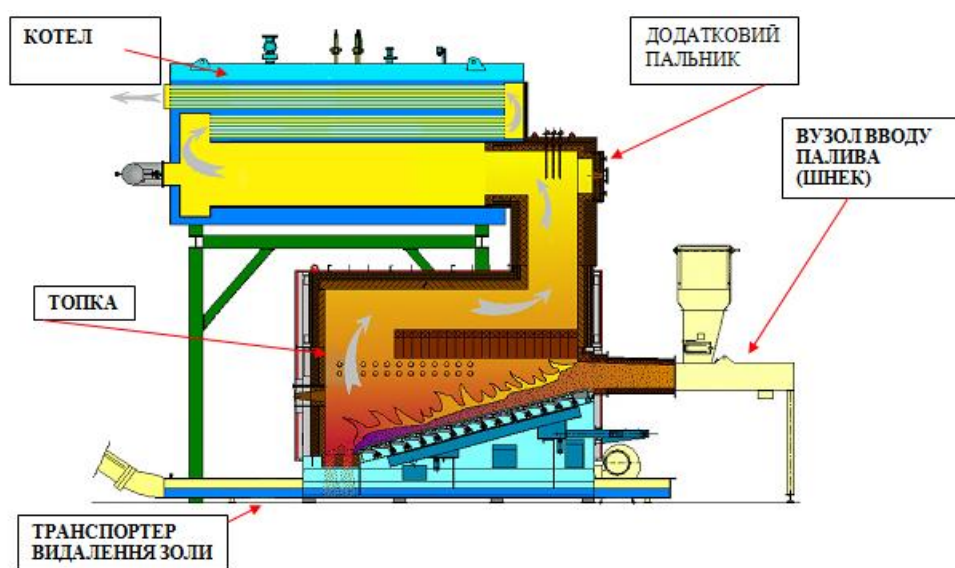


Рис.2 Принципова схема котла, призначеного для спалювання відходів.

Наявність  $SO_2$  в продуктах згорання неминуче призведе до збільшення їх точки роси. Тому при початковому умісті сірки у складі палива до 0,47 % мас. скраплення водяної пари у складі продуктів згорання буде відбуватись уже не при температурі  $+56^{\circ}C$ , а при температурі близько  $95 \dots 100^{\circ}C$ , що вимагає обов'язкової рециркуляції теплоносія при роботі котла і призводить до відповідних втрат теплоти, або переходу котла на високотемпературний графік відпуску теплоти.

Спалювання ТПВ можливо лише за рахунок використання в паливоспалювальних установках вискоелективних систем очищення газів. Вони повинні включати:

1. Первинну очистку продуктів згорання від дисперсної фази в мультициклонах.

2. Очистку від оксидів сірки і хлоридів - методом промивки у конденсаційному теплообміннику содовим розчином, або водою. Крім очищення від шкідливих інгредієнтів конденсаційний теплообмінник дасть можливість використати приховану теплоту конденсації продуктів згорання, збільшити ККД котельної установки і виконати очистку продуктів згорання від водяної пари (осушити продукти згорання), що надзвичайно важливо для забезпечення ефективної роботи систем вторинної очистки від дисперсної фази.

3. Третя ступінь - тканинні рукавні фільтри (рис. 2). А у разі необхідності - пропонується адсорбційна очистка багатоконпонентної суміші продуктів згорання у вугільному адсорбері

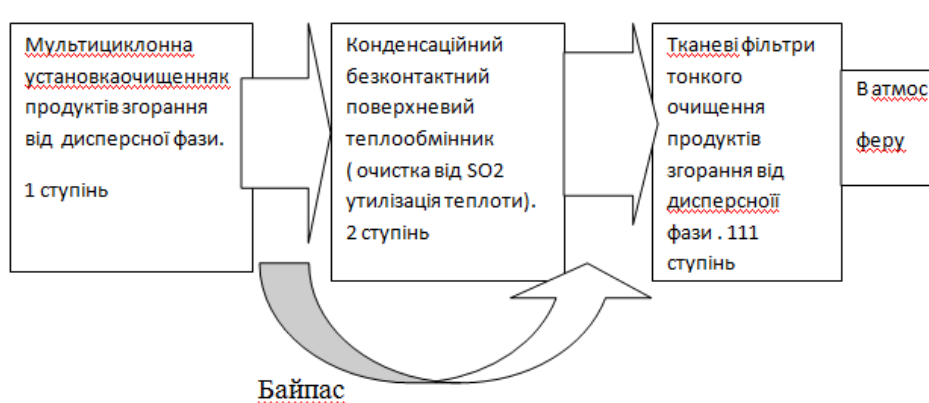


Рис.3. Принципова схема очищення продуктів згорання.

Байпас в схемі очистки дає можливість уникнути точки роси у продуктах згорання на виході із конденсаційного теплообмінника і на вході до рукавних фільтрів.

При цьому наголошуємо, що згідно вимог Закону України " Про внесення змін до деяких законів України щодо сприяння виробництву та використанню біологічних видів палива" призначення паливоспалювального агрегату для роботи на альтернативному виді палива повинно бути підтверджено документом підприємства-виробника цього агрегату. Пуск і експлуатація об'єктів для спалювання відходів є можливим лише за умови отримання спеціального дозволу на відповідність Директиві 2000/76 ЄС.

Як свідчить світовий досвід, відновлюване паливо з відходів (SRF, RDF) використовується в установках побічного спалювання (на вугільних електростанціях або в цементних печах). Це установки із значними об'ємами топкового простору і високими температурами у реакційній зоні, на відміну від запропонованого теплогенератора. Крім зазначеного вище необхідно зауважити,

що на сьогодні на законодавчому рівні питання використання SRF, RDF, як палива залишається неврегульованим.

Законом України «Про альтернативні джерела енергії» не передбачено також наявність і можливість використання такого палива, як «відновлюване паливо з відходів» у якості альтернативного виду палива, у тому числі на об'єктах комунальної енергетики. Відсутні також правила сертифікації такого палива і критерії його відповідності національним стандартам. Не визначено умови використання такого палива. Відсутні нормативні вимоги до використання палива із відходів і до експлуатації установок для спалювання такого палива. Відсутній порядок розрахунків за теплову енергію, для виробництва якої використовується відновлюване паливо у вигляді відходів.

Експлуатація паливоспалювальних установок з використанням ТПВ пов'язаний з необхідністю виконання певних додаткових вимог, а саме:

1. Вимога постійного контролю за параметрами процесу горіння у топковому пристрою - температури на виході із топкового простору( на внутрішніх стінках камери згорання або біля неї) не менше 850 °С і часу перебування у зоні високої температури ( зоні горіння) - не менше 2 с. При цьому час спрацьовування системи забезпечення необхідної температури у камері згорання повинен бути не менше 2с.

2. Вимога обов'язкового влаштування на паливоспалювальних агрегатах додаткового пальника на паливі, яке за токсичністю продуктів згорання не гірше відходів (природний газ, пічне паливо). Автоматичне включення пальника у разі зменшення температури у реакційній зоні топки нижче 850 град.С, а також у періоди виведення котла на номінальний режим роботи.

3. Вимога щодо автоматичного постійного моніторингу за складом продуктів згорання в атмосферу і скидів у систему водовідведення від системи очистки викидів на наявність токсичних інгредієнтів з визначенням їх концентрацій. Щорічне тестування системи моніторингу.

До складу таких інгредієнтів у продуктах згорання відносяться: оксиди азоту  $NO_x$ ,  $CO$ , тверді речовини( сажа і зола) фаза,  $HCl$ ,  $HF$ ,  $SO_2$ , органічні продукти хімічного недопалу.

У складі стоків до таких речовин відносяться: важкі метали, діоксини, фурани.

Не слід також забувати про необхідність створення запасу значної кількості відсортованих ТПВ, які будуть використовуватись як паливо з урахуванням вкрай нерівномірного річного споживання ТПВ як теплоенергетичного палива, спричиненого значною сезонною нерівномірністю генерації і відпуску теплоти в системі теплопостачання.

**Висновки.** У статті представлено результати досліджень спалювання ТПВ у топках паливоспалювальних агрегатів. Показано, що склад ТПВ і їх горючі характеристики суттєво відрізняються від відомих видів твердого і альтернативного виду палива. Це призводить до необхідності реконструкції існуючих теплофікаційних котлів на твердому паливі для спалювання ТПВ. В статті приведено основні рекомендації щодо виконання такої реконструкції. Досвід роботи сміттєспалювальних заводів за кордоном і в Україні свідчить про те, що поверхневий і формальний розгляд цього питання, нехтування особливостями складу ТПВ, процесу горіння і умісту специфічних компонентів у продуктах згорання може призвести до того, що установки зі спалювання відходів стануть небезпечними джерелами забруднення довкілля у місцях їх розташування. Особливо небезпечними є намагання використати ТПВ у якості палива котельних міських систем тепlopостачання. Наведено вимоги щодо улаштування систем очистки продуктів згорання від пристроїв, призначених для спалювання ТПВ. Обговорено питання про організацію експлуатацію паливоспалювальних систем з використанням ТПВ.

## Література

1. Про схвалення Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 р. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 8 листопада 2017 р. № 820 –р. Київ, <https://www.kmu.gov.ua/npas/250431699>.
2. Про затвердження Національного плану управління відходами до 2030 р. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 20 лютого 2019 р. № 117-р. Київ, <https://www.kmu.gov.ua/npas/pro-zatverdzhennya-nacionalnogo-planu-upravlinnya-vidhodami-do-2030-roku>
3. Закон України « Про управління відходами» від 20.06.2022 № 2320-IX. <https://ips.ligazakon.net/document/T222320?an=2>.
4. Williams, Paul T. Waste treatment and disposal / Paul T. Williams. – 2nd 2005. 5. Council Directive 75/442/EEC of 15 July 1975 on waste.
5. (Council Directive 2006/12/EC of the European Parliament and of the Council of 5 April 2006 on waste) // Official Journal of the European Union. – 2006. – L 114. – 27.4.2006. – с. 9–21.
6. В. М. Чмель, І. П. Новікова. Газифікація побутових відходів. Проблеми екології та експлуатації об'єктів енергетики :Збірник праць / Інститут промислової екології. – К. : ІВЦ АЛКОН НАН України, 2022. – с 161.
7. Directive 2000/76/EC of the European Parliament and of the Council on the incineration of waste.