

ПРО ЗАМІЩЕННЯ ВУГІЛЛЯ В ТВЕРДОПАЛИВНИХ КОТЕЛЬНЯХ БЮДЖЕТНОЇ СФЕРИ

БРАВЕРМАН В.Я. — к. т. наук, генеральний директор КВЦ Возобновляемые ресурсы, Одеса, Україна

1. Вступ

Україна відчуває значний дефіцит вугілля, в першу чергу антрациту, через бойові дії на сході країни та блокаду вантажного транспортного сполучення з непідконтрольними територіями Донецької та Луганської областей. Внаслідок цього для потреб опалення локальними твердопаливними котлами в приватному секторі та бюджетній сфері почали використовувати довгополум'яне та газове вугілля. В процесі термічного розкладання довгополум'яного та газового вугілля утворюється до 35% газоподібних і 65–70% твердих продуктів. При спалюванні цього вугілля утворюються отруйні гази, такі як чадний газ (оксид вуглецю), сірчистий газ (оксид сірки) і гази, що негативно впливають на клімат, наприклад, вуглекислий газ. Ніякий інший вид непоновлюваного палива не викидає в атмосферу таку величезну кількість вуглекислого газу як це вугілля. Забруднення спричиняють також вугільний пил та сажа.

Забруднення повітря є найбільшим у світі екологічним ризиком для здоров'я. Згідно з даними ВООЗ, сім мільйонів людей помирають щороку від хвороб, пов'язаних з наслідками забруднення повітря. Програма ООН з довкілля (ЮНЕП) включає два основних напрямки діяльності відносно зв'язків між станом довкілля і здоров'ям людини:

- декарбонізація — скорочення використання вуглецевого палива і, відповідно, зменшення викидів вуглекислого газу (CO₂) за рахунок заміщення вуглецевих джерел енергії альтернативними;

- детоксикація — боротьба із забрудненнями атмосфери шляхом скорочення викидів вуглецю та інших забруднюючих речовин побутовими та непродуктивними споживачами енергоресурсів, а також забезпечення відповідності викидів забруднюючих речовин рекомендаціям ВООЗ щодо діаметру дрібних твердих частинок та концентрації викидів оксиду вуглецю.

Паризька кліматична угода (2015),

серед іншого, визначає, що перехід до економіки з низьким рівнем викидів вуглецю, а також боротьба із причинами кліматичних змін при створенні стійкіших до змін клімату суспільств є одним із головних пріоритетів діяльності ЄС на період до 2020.

Такий об'єм викидів забруднюючих речовин призводить до зростання числа найрізноманітніших захворювань. Передусім, це:

- захворювання дихальних шляхів (астма, бронхіти, інфекції нижніх дихальних шляхів);
- хронічні хвороби легенів у дітей;
- серцево-судинні захворювання;
- рак легенів у жінок;
- низька маса тіла дітей при народженні;
- рак сечовивідних шляхів.

Викиди від спалювання вугілля є особливо небезпечними для дітей у віці до 12 років — їх нерозвинена імунна система ще не здатна адекватно реагувати на ці забруднення [12]. Крім того, треба зазначити, що вуглевидобувні підприємства України в січні-квітні 2018 року скоротили видобуток вугілля на 14% (на 1,832 млн. тонн) в порівнянні з аналогічним періодом 2017 року — до 11,236 млн. тонн, у тому числі енергетичних марок на 15,6% (на 1 млн. 678,4 тис. тонн) — до 9 млн. 77,2 тис. тонн.

При виборі найкращої прогресивної технології заміщення викопного вугілля в твердопаливних котельнях необхідно виходити з інтегральної оцінки цих технологій. Інтегральна оцінка ефективності технологій враховує економічні, екологічні й соціальні аспекти.

Економічний ефект складається з доходів від реалізації вторинних продуктів найкращою технологією переробки й утилізації.

Екологічний ефект від застосування цих технологій — це вартісна оцінка відверненого екологічного збитку від забруднення навколишнього середовища (атмосферного повітря, водних ресурсів і ґрунтів, земельних ресурсів).

Соціальний ефект — це, передусім, зниження показників захворюваності населення внаслідок екологічної нормалізації умов життєдіяльності людини, приріст грошових доходів населення та соціальних позабюджетних фондів завдяки реалізації проекту й приведенню господарської діяльності у відповідність з основними соціальними потребами населення.

Враховуючи усі ці чинники, а також політичні аспекти необхідності відмови від імпорту газу, найбільш поширеним джерелом заміщення вугілля в Україні є виробництво альтернативного палива з біомаси. Кількість цього паливного ресурсу з біомаси щорічно росте і до 2020 року досягне 45 мільйонів тонн. Світовий досвід показує, що використання 40% усього об'єму біомаси в енергетичних цілях не шкодить сільськогосподарському виробництву. З 18 мільйонів тонн біомаси може бути отримано 6 мільйонів тонн біовугілля. Слід зазначити, що заміщення викопних палив альтернативними джерелами енергії та захист довкілля і здоров'я людей — це й є основна складова сталого розвитку суспільства в широкому сенсі цього поняття.

2. Технології конвертації енергії біомаси

Енергію біомаси можна конвертувати в зручні для практичного застосування види енергії за допомогою різних технологій. При виборі конкретної технології заміщення викопного вугілля слід також враховувати витрати на модернізацію твердопаливних котлів, тобто бажано якомога менше переобляти самі твердопаливні котли.

Таблиця 1. Викиди від спалювання 100 тонн енергетичного вугілля.

Викиди, кг	CO ₂	NO ₂	SO ₂	Тверді частки	Всього викидів
100 000	958	6356	920	6532	14766



Рис. 1. Мобільна торрефікаційна установка виробництва фірми TSI

З урахуванням цієї вимоги далі нами розглядається тільки два способи отримання енергії з біомаси — пряме спалювання та піроліз. Під прямим спалюванням біомаси в твердопаливних котлах сьогодні розуміється спалювання пелет та брикетів з біомаси. Для спалювання пелет твердопаливні котли мають бути додатково обладнані бункером і системою автоматичної подачі пелет, що не завжди можливо через відсутність необхідних площ та коштів. Використання брикетів не вимагає переробки й модифікації котельного устаткування. Однак при прямому спалюванні брикетів з соломи слід враховувати, що солома містить ряд сполук, які не лише утруднюють її технологічне використання, але й чинять

значну негативну дію на навколишнє середовище. Особливо небезпечними є з'єднання сірки, свинцю, хлору. При спалюванні соломи в атмосферне повітря потрапляє діоксид сірки, оксиди азоту і вуглецю, сажа. Будівництво ж очисних споруд при кожному твердопаливному котлі (як це, наприклад, робиться на великих ТЕЦ) економічно не вигідно. З точки зору реалізації екологічних вимог цілком природною є розробка технологій централізованої підготовки палива з соломи з очищенням його від шкідливих викидів при спалюванні. До таких технологій відносяться насамперед технології м'якого піролізу біомаси — торрефікація та карбонізація.

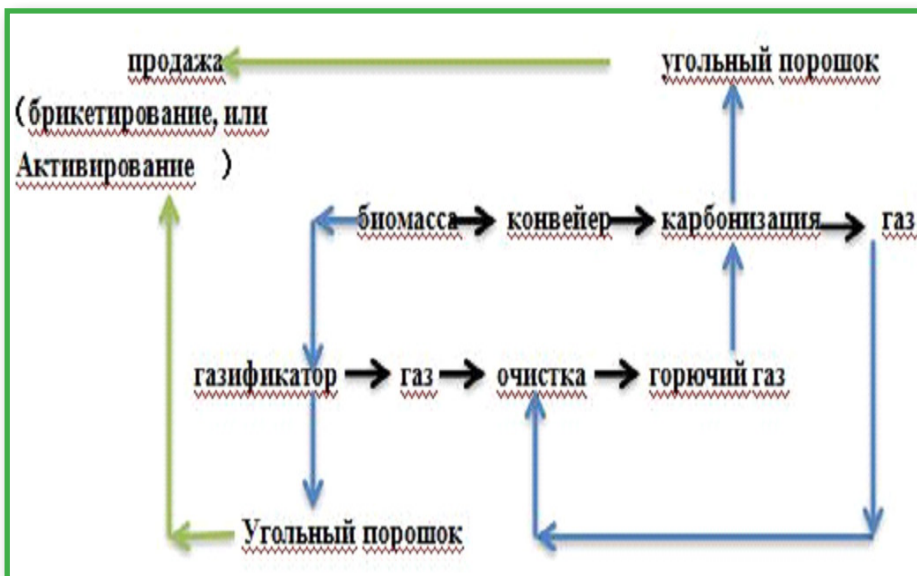


Рис. 2. Типова схема карбонізації біомаси.

3. Торрефікація

Торрефікація — це м'який піроліз рослинної біомаси, тобто процес термохімічного перетворення рослинних матеріалів при температурі від 300 °С до 500 °С і повільному нагріві без доступу повітря або, простими словами, обсажування [1]. Кінцевим продуктом технологічної лінії торрефікації біомаси є біовугілля у вигляді пелет або брикетів. Біовугілля (biochar, hydrochar, biosoal, синтетичне вугілля) — це вугілля, вироблене штучним шляхом з біомаси. В порівнянні з викопним вугіллям біовугілля має цілий ряд переваг [4]:

- висока теплотворна здатність (25–30 Мдж/кг);
- низький вміст сірки та важких металів;
- висока ефективність згоряння;
- низька емісія NOx;
- висока температура плавлення золи (1400 °С) забезпечує усунення проблем, пов'язаних із спіканням біомаси та утворенням шлаків в котлах;
- висока енергетична щільність, завдяки чому знижуються транспортні витрати та розміри складських приміщень;
- можливість тривалого зберігання без змін властивостей;
- висока гідрофобність, що дозволяє обходитися без особливого режиму зберігання.

В процесі термічної деструкції гемицелюлози, що входить до складу початкової органічної сировини, одночасно з основним твердим продуктом утворюються леткі гази, які є сумішшю газоподібних сполук, що конденсуються і не конденсуються, та пари. Леткі гази, що не конденсуються, здебільшого містять діоксид (CO₂) та оксид вуглецю (CO). Горючі компоненти, що входять до складу летких газів, можуть спалюватися, а тепло, що виділяється при цьому, може бути використано для сушки сировини, що переробляється [2]. Проте, внаслідок того що теплота згорання летких речовин, яка виділяється, невелика, процес їх спалювання швидше слід розглядати як спосіб вирішення екологічної проблеми, що виникає у зв'язку з необхідністю їх утилізації. Основним недоліком систем торрефікації є велике споживання теплової енергії. Теплова енергія, необхідна для попереднього сушіння і власне торрефікації, може бути отримана за рахунок спалювання частини вироблених торрефікованих продуктів.

Перше місце в світі за кількістю компаній і державних інститутів, що працюють у сфері торрефікованого біопалива, міцно утримують Нідерланди. У 2012 році там була створе-

на Асоціація торрефікації (The Dutch Torrefaction Association), в 2013 році така ж асоціація була створена в Європі. Стрімко розвивається виробництво торрефікованих брикетів та пелет, а також обладнання для їх виробництва в США та Китаї.

Американська компанія TSI в 2010 році виготовила першу пілотну мобільну установку для виробництва торрефікованого палива з рослинних відходів, яка помістилась в звичайний трейлер (рис. 1). З 2013 року компанія почала розробку й випуск устаткування широкого модельного ряду потужністю до 300 тис. тонн торрефікованих пелет на рік.

4. Карбонізація біомаси

Типова схема карбонізації біомаси представлена на рис. 2. Для виконання екологічних вимог щодо захисту навколишнього середовища від шкідливих викидів розроблені барабанні печі безперервної карбонізації. Безперервна піч карбонізації екологічного типу використовує очищені димові гази, що виникають в процесі карбонізації, як горючий газ для згоряння і повторного використання.

На першому етапі здійснюється газифікація біомаси в печі газифікації. Отриманий синтез-газ після охолодження й очищення використовується як джерело тепла первісної карбонізації для нагрівання печі карбонізації [3]. Коли температура в печі досягає заданого рівня, завантажується сировина та проводиться її коксування. Димовий газ, що виникає в процесі карбонізації, через розпорошення, охолодження та очищення подається на спалювання й нагрівання барабану. В процесі виробництва температура карбонізації може сягати 600–900°C. Типова комплектація барабанної печі карбонізації включає:

- піч газифікації для попереднього виробництва газу;
- систему очищення димових газів від шкідливих речовин, а також систему охолодження для перетворення гарячої пари на воду;
- автоматичний завантажувальний пристрій з перетворювачем частоти для регулювання швидкості подачі біопалива-сировини;
- барабан карбонізації необхідної продуктивності;
- розвантажувальний пристрій з функцією охолодження.

В останні роки технології карбонізації стрімко розвиваються [7,8], створені технології гідротермальної карбонізації (ГТК) й гідротермальної карбонізації в присутності водяного пару [6]. В процесі ГТК біомаса вологістю до 80% з низькою теплотворністю перетворюється на біовугілля,

Таблиця 3. Викиди від спалювання 40000 тонн викопного довгополум'яного газового вугілля.

Викиди, кг	CO2	NO2	SO2	Тверді частки	Всього викидів
40 000 000	383200	2542400	368000	2612800	5906400

порівняне за властивостями з викопним вугіллям. ГТК — це перетворення біомаси в вугільні продукти й воду під впливом температури і тиску без доступу повітря. Процес ГТК відбувається при температурі близько 230 °C під тиском близько 25 бар. ГТК — це фізико-хімічний метод, екзотермічний процес. При розщепленні ланцюжків вуглецю, що містяться в біомасі, на воду та вуглець виділяється тепло. Карбонізація відбувається за короткий час (3–12 години), при цьому зберігається майже 100% вуглецю й близько 2/3 енергії.

Переваги технології гідротермальної карбонізації перед іншими технологіями переробки біомаси:

- висока ефективність;
- відсутність необхідності попереднього сушіння біомаси, що дозволяє значно знизити вартість обладнання;
- можливість використання самих різних видів біомаси, включаючи низькоякісну, яка придатна тільки для утилізації;
- простота обслуговування обладнання та низькі експлуатаційні витрати;
- висока екологічність технології, що виключає забруднення навколишнього середовища;
- можливість використання суміші, що складається з різних видів біомаси.

Ці переваги дозволяють сьогодні вважати технологію гідротермальної карбонізації найкращою доступною технологією, яка може бути охарактеризована як технологічний процес, технічний метод, заснований на останніх досягненнях науки і техніки, спрямований на зниження негативного впливу господарської діяльності на навколишнє середовище, який має встановлений термін практичного застосування з урахуванням економічних, технічних, екологічних і соціальних факторів.

Низька насипна щільність біомаси призводить до великих витрат на її збір і транспортування до місця переробки. В силу цього низкою компаній, таких як GRENOL і Nettenergy (Данія) [6], розроблені пересувні модулі для промислового застосування технології гідротермальної карбонізації. Застосування технології гідротермальної карбонізації дозволяє:

- без істотних переробок котелен замінити викопне вугілля в твердопаливних котлах на біовугілля;

- використовувати для виробництва біовугілля будь-який вид біомаси;
- уникнути витрат теплової енергії на сушку біомаси;
- повністю позбутися шкідливих викидів у атмосферу біля шкільних та дошкільних закладів;
- знизити захворюваність дітей, пов'язану з викидами від спалювання вугілля;
- скоротити викиди в атмосферу, пов'язані зі спалюванням залишків сільськогосподарської діяльності на полях.

5. Біовугілля: заміщення викопного вугілля в дитячих закладах бюджетної сфери Одеської області

Виходячи з багаторічного досвіду виробництва та експлуатації твердопаливних вугільних котлів, ми пропонуємо малобюджетний варіант їх модернізації шляхом заміни вугілля в твердопаливних котельнях на паливні брикети з біовугілля. При такому заміщенні модернізація твердопаливних котлів буде полягати тільки у встановленні вентилятора примусового наддуву з регулятором температури теплоносія (води).

За даними моніторингу КП «Одеська обласна енергозберігаюча компанія» станом на грудень 2017 року, у бюджетній сфері Одеської області перебувають в експлуатації понад 420 твердопаливних вугільних котлів, зокрема 330 металевих котлів одноступінної конструкції марок ХТО, КСТ, КСТБ, КСГБ і 90 чавунних котлів «Ністру» й «Універсал». В опалювальний сезон ці твердопаливні котельні спалюють понад 40000 тонн довгополум'яного газового вугілля.

Зараз спільно з Департаментом освіти і науки Одеської обласної державної адміністрації ми розробляємо екологічний проект «Чисте повітря в школах» для впровадження в Одеській області. В рамках цього проекту передбачається:

- будівництво заводів по карбонізації 150000 тонн/рік різних видів біомаси з виробництвом біовугілля;
- заміщення 40000 тонн викопного вугілля (декарбонізація) в 330 твердопаливних котельнях шкільних та дошкільних дитячих закладів Одеської області на альтернативне паливо (біовугілля);

- впровадження систем локальної вентиляції з рекуперацією тепла й вологість за керуванням за рівнем вуглекислого газу в приміщеннях 330 шкільних і дошкільних закладів Одеської області.

Внаслідок реалізації програми «Чисте повітря в школах» обсяг шкідливих викидів у атмосферу буде зменшено на

6000 тонн на рік за рахунок заміщення викопного вугілля альтернативним паливом (біовугілля). Крім того, обсяг викидів шкідливих речовин знизиться ще на 7600 тонн у рік унаслідок переробки соломи в біовугілля замість її спалювання на полях і ще, як мінімум, на 4500 тонн завдяки впровадженню систем локальної вентиляції з рекупе-

рацією тепла. Загальний обсяг викидів шкідливих речовин в атмосферу буде зменшено на 18100 тонн.

Впровадження програми «Чисте повітря в школах» пропонується почати з Арцизького і Роздільнянського районів, де у школах і дитсадках встановлено відповідно 57 і 54 твердопаливних котлів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кузьмин С. Н., Ляшков В. И., Кузьмина Ю. С. Нетрадиционные источники энергии. Биоэнергетика. М.: ИНФРА-М, 2016. 129 с.
2. Антропов А. П., Исьемин Р. Л., Косов В. В., Косов В. Ф., Синельщиков В. А. Получение синтез-газа в процессе торрефикации биомассы // Альтернативная энергетика и экология. — 2011. — № 10. — С. 42–46.
3. Гидротермальная карбонизация для переработки любого вида биомассы в биоуголь. Официальный сайт компании InterCenter GmbH [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://intercentre.de/hydrothermal_carbonization/
4. Передерий, С. Биоуголь — новое или хорошо забытое старое? Возрождение гидротермальной карбонизации биомассы в Европе // ЛесПромИнформ. — 2014. — № 3 (101).
5. Гелетуца Г. Г., Железная Т. А., Трибой А. В. Перспективы использования отходов сельского хозяйства для производства энергии в Украине. Часть 2. // Промышленная теплотехника. — 2014. — т. 36, № 5.
6. Гидротермальная карбонизация. Карбонизация паром. [Електронний ресурс]. Официальный сайт компании Grenol GmbH. Режим доступу: http://intercentre.de/wp-content/uploads/2016/10/Gemeinsame-Prasentation-HTCVTC_rus.pdf
7. Производство биоугля методом гидротермальной карбонизации из отходов деревообработки и другого органического материала. [Електронний ресурс]. ООО «Альтернативные технологии», М.: 2016. Режим доступу: <http://docplayer.ru/76362193-Proizvodstvo-biouglya-metodom-gidrotormalnoy-karbonizacii-iz-othodov-derevoobrabotki-i-drugogo-organicheskogo-materiala.html>
8. Механическая карбонизация биомассы — новый этап в развитии мировой энергетики [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://golos.io/ru — vozobnovlyaemaya/@entry/z435-mekhanicheskaya-karbonizaciya-biomassy-novyi-etap-v-razvitiimirovoi-energetiki>
9. Ключ В. П., Автотермическая технология карбонизации птичьего помета // Відновлювана енергетика — Національна академія наук України, Інститут відновлюваної енергетики — 2015. Вып. 2, С. 84–87
10. Бунецкий, В. А. Анализ рынка переработки биомассы в твердое топливо. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://docplayer.ru/44412262-Analiz-rynka-pererabotki-biomassy-v-tverdoe-biotopливо-buneckiy-vladimir-aleksandrovich.html>. Официальный сайт компании BM-Engineering [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.bm-biomass.com/>
11. Производство энергии из соломы. Положение, технологии и инновации в Дании. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://uabio.org/img/files/news/pdf/straw-to-energy-demark.pdf>
12. Браверман В. Я., Кушнерук В. И., Третьякова О. В., Шафран Л. М. «Энергоэффективность, энергосбережения та здоров'я» // Актуальні проблеми транспортної медицини — 2018. № 1 (51).

АНОТАЦІЯ

Про заміщення вугілля в твердопаливних котельнях бюджетної сфери

Браверман В. Я. — к. т. наук, генеральний директор КВЦ Возобновляемые ресурсы, Одеса, Україна

E-mail: <braverman@resources.odessa.ua>

Поштова адреса: 65058, м. Одеса, вул. Маршала Говорова, 10Б / 158.

Мета дослідження. В роботі обґрунтовується необхідність заміщення викопного вугілля в твердопаливних локальних котельнях на біовугілля, вироблене з різних видів біомаси. **Методи.** Пропонується при виборі найкращої прогресивної технології виготовлення біовугілля використовувати інтегральну оцінку цієї технології, що включає економічний, екологічний та соціальний аспекти. **Результати.** Показано, що пряме спалювання відходів

сільськогосподарської діяльності не відповідає вимогам екологічної безпеки, а також потребує значних витрат на модернізацію діючого котельного обладнання. Для виробництва біовугілля з відходів пропонується використовувати сучасні методи термохімічної деструкції — торефікацію і карбонізацію. Кінцевим продуктом технологічної лінії торефікації біомаси є пелети або брикети з біовугілля з високою теплотворною здатністю, низьким вмістом сірки і важких металів та низькою емісією NOx.

Висновок. Технології карбонізації в останні роки стрімко розвиваються, створені технології гідротермальної карбонізації (ГТК) і гідротермальної карбонізації паром. В процесі ГТК біомаса вологістю до 80% з низькою теплотворною здатністю перетворюється на біовугілля. Технології ГТК мають наступні переваги перед іншими технологіями переробки біомаси: висока ефективність; відсутність необхідності попередньої сушки біомаси, що дозволяє значно знизити вартість обладнання; можливість використання самих різних видів біомаси, включаючи низькоякісну, яка придатна тільки для утилізації; простота обслуговування обладнання і низькі експлуатаційні витрати; висока екологічна чистота технології, що виключає забруднення навколишнього середовища; можливість використання суміші, що складається з різних видів біомаси. Ці переваги дозволяють сьогодні вважати технологію гідротермальної карбонізації «найкращою доступною технологією».

Ключові слова: заміщення викопного вугілля, біовугілля, торефікація, карбонізація, термохімічна деструкція, гідротермальна карбонізація, найкраща доступна технологія.

ABSTRACT

On the replacement of coal in solid fuel combustors in state-financed boiler-houses

Braverman V. Ya.

E-mail: <braverman@resources.odessa.ua>

Mailing address: 65058, Odessa, ul. Marshal Govorov, 10B / 158.

Purpose. The paper substantiates the need to replace fossil coal in solid fuel local boilers by biochar produced from various types of biomass. **Methods.** Selection of the best available technology for biochar manufacturing should be based on an integrated assessment including economic, environmental and social aspects. **Results.** It is noted that direct combustion of agricultural residues does not meet environmental safety standards and also requires significant costs for modernization of existing boiler installations. It is proposed to produce biochar from agricultural residues using modern methods of thermochemical degradation, specifically torrefaction and carbonization. End-products of biomass torrefaction — biochar pellets or briquettes — have high calorific value, low sulfur and heavy metal contents, and low NOx emissions.

Conclusions. Biomass carbonization technologies that have been rapidly developing in recent years include hydrothermal carbonization (HTC) and vapor-thermal carbonization methods. In the process of HTC, biomass with up to 80% moisture content and low calorific value is converted into biochar. HTC technologies have the following advantages over other biomass processing technologies: high efficiency; biomass pre-treatment does not require drying and that can significantly reduce the cost of equipment; the possibility to use various types of biomass, including low-grade biomass, which is only suitable for disposal; easy maintenance and low operating costs; eco-friendly technology can help preserve the environment; the possibility to use mixtures of various types of biomass. These advantages make hydrothermal carbonization the best available technology.

Keywords: replacement of coal, biochar, torrefaction, carbonization, thermochemical destruction, hydrothermal carbonization (HTC), vapor-thermal carbonization, best available technology.