

УДК 662.76

С. Й. Ткаченко, д-р техн. наук, проф.;

Л. А. Боднар, канд. техн. наук;

А. О. Юзюк, асп.

ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМКИ ВИКОРИСТАННЯ БІОМАСИ ЯК ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ

Розглянуто методи використання біомаси з метою виробництва теплової енергії. Розглянуто перспективні конструкції газогенераторних установок, а також способи очищення генераторного газу від домішок.

Вступ

В Україні спостерігається стійкий дефіцит енергоносіїв, тому економічно рентабельними стають певні види місцевого палива і відходів. Вінницька область переважно аграрна, тому використання відходів біомаси (стебла кукурудзи, соняшнику, соломи) є перспективним напрямком заміни природного газу, а також альтернативою йому в південних майже не газифікованих районах.

Щорічне подорожчання енергетичних ресурсів призводить до зростання частки використання поновлюваних джерел енергії в усьому світі. Одним з найперспективніших видів відновлювальних джерел енергії є біомаса, сьогодні четверте за значенням паливо в світі, щорічно дає 2 млрд т. у. п. енергії, що складає близько 14 % загального споживання первинних енергоносіїв в світі (в країнах, що розвиваються, — більше 30 %, іноді до 50...80 %) [1]. За різними оцінками загальний потенціал біомаси, доступної для виробництва енергії в Україні, складає 10,6...17,6 млн т. у. п./рік [2, 3]. Основними складовими потенціалу є відходи сільського господарства, деревообробної промисловості, деревини, гній.

Згідно з [4—6] сумарні потенціальні ресурси відходів деревини, включаючи кору в лісовому господарстві і деревопереробних галузях промисловості України, складають 3743 тис. м³, що еквівалентно 984 тис. т. у. п. в рік. Кількість ресурсів відходів деревини, що не використовується, складають 2858 тис. м³, що відповідає 0,75 млн т. у. п. В енергетичному балансі країни деревина складає близько 0,4 %.

Метою роботи є огляд сучасних технологій використання біомаси з метою виробництва теплової та електричної енергії.

Технології термічної переробки біомаси і органічних відходів

Експериментальні дослідження і науково-конструкторські розробки деяких організацій та наукових закладів [7—8] показали технічну можливість і економічну доцільність утилізації відходів деревини, в тому числі зі забруднених радіонуклідами лісових територій шляхом газифікації та піролізу з отриманням екологічно чистого газоподібного палива. Найпрактичніше значення за енергетичного використання мають відходи стовлової деревини, кори, деревинна гниль і біомаса елементів крони дерев, солома [9]. Аналіз існуючих технологій використання деревини в якості палива показав, що найдоцільнішими методами термічної переробки є: спалювання, газифікація, піроліз. При цьому техніко-економічні показники спалювання палива в топках більші, в порівнянні з такими ж показниками газифікації і піролізу. Але для вирішення локальних енергетичних проблем з використанням газогенераторів для отримання газу як палива в двигунах внутрішнього згорання, а також для синтезу газу з подальшим його збагаченням воднем за наявності відходів деревообробки за рахунок виробничої діяльності підприємства застосування газогенераторної установки є рентабельним [7].

Термохімічна *газифікація* — це процес часткового окислення вуглецемісткої сировини, (деревини) з отриманням газоподібного носія — генераторного газу. Отриманий газ складається з монооксиду вуглецю, водню, метану, діоксиду вуглецю, невеликої кількості вуглеводневих сполук більш високого порядку, таких як етан, містить пари води, азот (при повітряному дутті) і різні домішки (смола, зола та ін.). В залежності від характеру дуття розрізняють [10—12]: повітряний генераторний газ, який отримують у разі подачі повітря (або чистого кисню) в зону газифікації; водяний генераторний газ, отриманий в процесі вдування водяної пари; пароповітряний генерато-

рний газ, отриманий в результаті подачі пароповітряної суміші. В сучасних газогенераторних установках великої потужності використовуються всі три види дуття, в той час як в газогенераторних котлах малої потужності як окислювач використовують повітря. *Піроліз* — це процес термічного розкладання органістких сполук без доступу кисню. Піроліз проходить за відносно низьких температур (500...800 °С) в порівнянні з процесами газифікації (800...1430 °С) і горіння (1500...2000 °С) [5]. Піроліз дає можливість для перетворення твердої біомаси в газоподібне, рідке і тверде паливо, які можуть ефективно використовуватись для отримання теплоти, електроенергії та іншої мети [13]. Процеси піролізу широко використовуються у коксохімічному виробництві, в процесі крекінгу нафти, напівкоксуванні бурого вугілля, сланцю, торфу та деревини.

Переваги процесів газифікації та піролізу над прямим спалюванням

Процеси газифікації і піролізу мають деякі переваги у порівнянні з прямим спалюванням: зменшується об'єм відхідних газів, є можливість використовувати генераторний газ для отримання інших видів енергії (теплової в котлах, як паливо в двигунах внутрішнього згорання (ДВЗ), електричної — за відповідного оформлення процесу перетворення) (рис. 1), а також сировини (оцтова кислота, смоли) [7, 10].

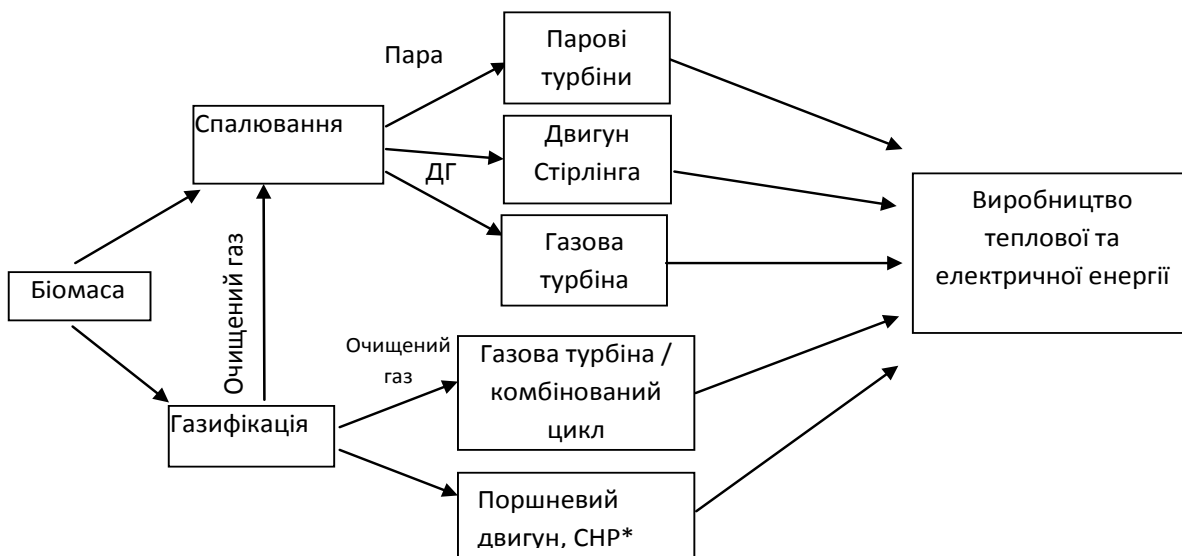


Рис. 1. Способи використання біомаси як джерела енергії

Примітка СНР* — combined heat and power (комбіноване виробництво теплової і електричної енергії), ДГ — димові гази.

Спалюючи низькосортне тверде паливо, особливо з високим вмістом вологи, неможливо отримати високі температури, тоді як в процесі спалювання газу, отриманого із цього ж палива, такі температури можливі. Із газу можна видалити вологу, яка є баластом, та підігріти його перед спалюванням. Крім цього, у разі спалювання газу необхідна менша кількість повітря, ніж для кускового палива, що сприяє збільшенню температури горіння і зменшенню втрат теплоти з відхідними газами [11]. В процесі спалювання газу можна регулювати характер полум'я і витрату газу. У випадку очищення газ дає чистіше полум'я, ніж тверде паливо, в продуктах горіння якого міститься пил і зола.

Використовуючи біомасу для виробництва електричної енергії, можна виділити дві групи технологій, які базуються на прямому спалюванні і газифікації. При цьому технології виробництва електричної енергії з газифікацією біомаси забезпечують досягнення більш високих значень коефіцієнта корисної дії. Ця перевага характерна для установок малої і середньої потужностей [13].

Проблеми, що супроводжують експлуатацію газогенераторної установки

Гетерогенний характер реакцій газифікації, а також процеси сушіння і піролізу потребують великої поверхні контакту, тобто більш подрібненого палива. Але наявність смол і властивість палива зпикатись у разі нагрівання, і пов'язані з цим механічні і гідравлічні проблеми дуття, шуровки і

стабільності всього процесу в цілому обмежують розмір фракцій подрібнення. Крім того варто зазначити, що за наявності шматків палива різного розміру велика фракція палива доходить до колосникової решітки зі значним механічним недопалюванням, а мілкіша — забиває канали шару, порушуючи його рівномірність по перерізу шахти газогенератора. В результаті місцеві перегріву шару закінчуються шлакуванням і зупинкою процесу [7].

Вологість деревини може змінюватись в дуже широких межах. В меблевому і деревообробному виробництвах вологість деяких видів деревини складає 10...12 %, в лісозаготівельних підприємствах вологість основної частини відходів складає 45...55 %, вологість кори у разі сортування у водних басейнах досягає 80 % [9]. Вологість деревини негативно впливає на теплоту згорання палива, що призводить до погіршення якості процесу газогенерації.

Температура виходу летких сполук в процесі спалювання деревини складає 160 °С, вихід летких — 85 % [10]. Інтенсивність горіння найвища на початку процесу і різко знижується в процесі догорання залишків. У зв'язку з цим, спалювання деревини в традиційних теплогенераторах, особливо в агрегатах малої потужності, призводить до екологічної проблеми — викиду в атмосферу продуктів згорання з концентраціями оксидів вуглецю і азоту, суттєво перевищуючи допустимі норми [6]. Раціональна організація процесу горіння знаходиться під тиском протилежних вимог: для зменшення утворення оксиду вуглецю необхідно збільшення максимальної локальної температури процесу, в той час як підвищення максимальної локальної температури в процесі спалювання вуглеводневих палив на 50...70 °С призводить до збільшення утворення оксидів азоту в 2,7 разів [7]. Тому принцип дії сучасних теплогенераторів, які працюють на деревині, оснований на двостадійному спалюванні, за якого на першій стадії виконується піроліз або газифікація (в залежності від температури процесу) палива, на другій — допалювання генераторного газу. Такий спосіб спалювання дозволяє суттєво підвищити теплову ефективність і керованість обладнання, а також досягти високого рівня екологічної чистоти. Фізико-хімічні і теплотехнічні властивості різних видів деревини мають деякі властивості, які певним чином впливають на ефективність їх використання з енергетичною метою [11—13]. До визначальних характеристик твердого палива як сировини для газогенерації є: розмір деревних заготовок для спалювання, що зумовлює використання відповідного технологічного спалювання обладнання; густина впливає на процес транспортування та зберігання палива; вологість деревини характеризує хімічні процеси спалювання та роботу обладнання; питома теплота згорання визначає корисну віддачу тепла і, як наслідок, обсяги використання біомаси; зольність характеризує повноту спалювання деревної біомаси; міцність; фракційний склад; вміст летких речовин; властивості золи (пом'якшення і розплав при нагріві); реакційна властивість палива (хімічна активність вуглецю палива в реакціях газифікації); теплота згорання палива; температура окислювача [9, 10, 12, 14].

Способи газифікації палива

В літературі розрізняють такі основні види процесів газифікації палива: прямий, обернений, поперечний, газифікація в киплячому шарі. У прямому процесі мають місце зустрічні потоки окислювача і палива, а в оберненому — відбувається супутна подача палива і повітря та подача повітря поперек. В процесі газифікації деревини і її відходів викликають великий інтерес як прямий, так і обернений процеси. В прямому процесі досягається максимальна температура горіння в нижній частині газогенератора, де створюються найкращі умови для повного вигорання вуглецю. Але в цьому випадку генераторний газ збагачується вологою і смолою. Такий газ можна використовувати без очищення переважно в топках котлів невеликої потужності, які розміщені дуже близько до газогенератора, що виключає необхідність його підготовки для транспортування по трубопроводах. Прямий процес є універсальним за видами палива. Він придатний практично для всіх видів твердого палива в достатньо широкому діапазоні їх зольності і вологості, включаючи сиру деревину вологістю до 50 % [7].

Принцип газифікації палива в киплячому шарі полягає в тому, за певної швидкості дуття і розмірів палива шар палива переходить в рух, за зовнішнім виглядом схожий на кипіння рідини. Внаслідок інтенсивного перемішування частинок щойно завантаженого палива з потоком повітря і розжареного палива, температура в об'ємі реактора підтримується практично однаковою 900...1000 °С [14]. Саме тому газ, отриманий під час газифікації палива в киплячому шарі і в пилегазовому потоці, не потребує спеціального очищення від смол [12].

Конструктивне оформлення газифікаторів твердих органічних відходів [15]

Вихід смоли залежить від конструкції газифікатора, умов його роботи, та від складу сировини для газифікації [16].

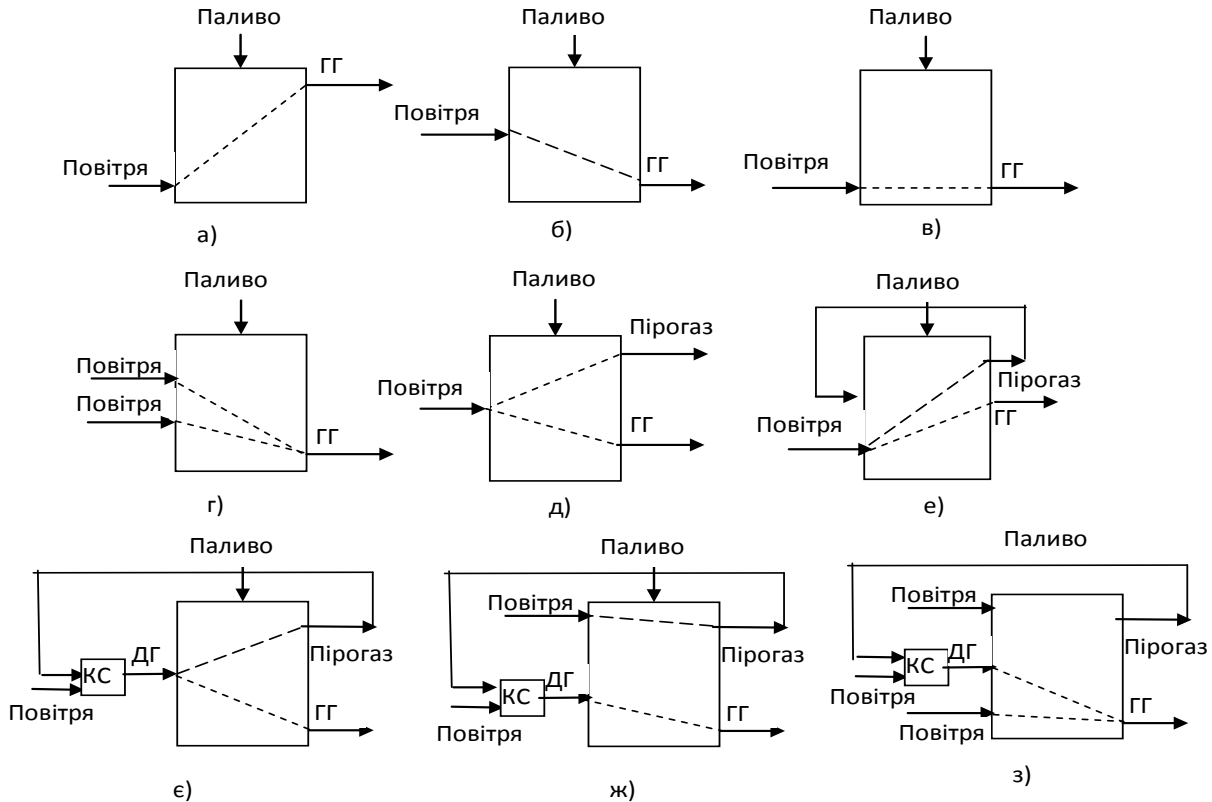


Рис. 2. Схеми газогенераторів: а — з прямим процесом, б — з оберненим процесом; в — з поперечним процесом; г — з двома вихідними потоками; д — з рециркуляцією; е — з двома вхідними потоками; е — з рециркуляцією і окисленням в камері згорання (КС); ж — двокорпусна установка з розділенням потоків; з — див. [15]

В залежності від технології газифікації [15] концентрація смол може бути різною. В реакторах з рухом газів вниз генераторний газ містить $50...500 \text{ мг/нм}^3$ смол. В реакторах з рухом газів вгору концентрація смол в ГГ знаходиться в межах $10...100 \text{ г/нм}^3$. В реакторах з киплячим шаром отримують ГГ з вмістом смол $5...10 \text{ г/нм}^3$.

Узагальнення інформації по складу генераторного газу з різних видів палива

Паливо	Метод газифікації	Склад генераторного газу, %					Теплота згорання, МДж/м ³	Літературне джерело
		CO	H ₂	CH ₄	CO ₂	N ₂		
Газ з деревного вугілля, (W = 7 %)	Поперечний	—	4...10	0...2	1...3	55...65	4,5...5,6	[16]
(W = 12...20 %) Деревина	Поперечний	17...22	16...20	2...3	10...15	55...50	5...5,86	[16]
Качани кукурудзи	Обернений	18,6	16,5	6,4	—	—	6,29	[16]
Ошурки деревини, торф, буре вугілля	Обернений	18...21	12...17	2,5...3,5	8...12	50,5...55,5	4,47...5,76	[17]
Вугілля з деревини	Поперечний	31,2...31,8	3,5...6,3	2...2,2	1,7...2,5	61,5...57	4,6...5,5	[17]
Антрацит	Поперечний	29,4	2,7	0,9	2,8	64	4,35	[17]
Відходи деревини	Обернений	20...25	10...15	1...2	5...10	50...60	4,8 ± 1,1	[7]

Способи очищення генераторного газу від домішок

Конструкція газифікатора повинна бути такою, щоб зменшувати концентрацію смоли в газі. В більшості випадків смоли необхідно видаляти чи перетворювати.

Для очищення газу від баласту (смоли, сажі) в великій енергетиці відпрацьовані достатньо ефективні вторинні методи очищення (із застосуванням фільтрів, скрубєрів). Але в малій енергетиці ці методи мають негативний вплив на техніко-економічні показники установок. В області електричних потужностей до 30 МВт найдоцільнішими способами очищення газу від смол і сажі є їх термічна конверсія безпосередньо в газогенераторі [15]. Вимоги по вмісту смол і твердих компонентів в генераторному газі однозначно не встановлені і залежать від виробника установок.

Зменшити вміст смоли можна таким чином [10, 18]: організацією дуття донизу з V-подібною конструкцією горловини реактора газифікації; стадійною газифікацією, де піроліз, газифікація і зони горіння розділені; додаванням каталізатора в реактор; видаленням смоли за допомогою скрубєра чи абсорбції; видаленням смоли і поверненням її в зону газифікації; рециркуляцією генераторного газу; створенням зон високих температур; використанням електрофільтрів.

Висновки

Газифікація біомаси з метою отримання теплової енергії в розвинутих закордонних країнах досягла комерційного успіху, хоча в Україні займає досить обмежений сегмент на енергетичному ринку. Газифікація є однією з перспективних технологій отримання енергії з біомаси. Для найефективнішого застосування деревини як палива необхідно вирішити такі проблеми: регулювання температури і витрати повітря, що використовується для окислення палива в процесах газогенерації; сушіння деревини; очищення генераторного газу від аерозолей смоли; вибір оптимальних для процесу схем установок газифікації (в залежності від виду палива, складу відходів, їх вологості може бути лише обернений процес або комбінований); зниження затрат енергії на дуття.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Современное состояние и перспективы развития биоэнергетики в Украине / [Г. Г. Гелетуа, Т. А. Железная, Н. М. Жовмир, Ю. Б. Матвеев] // Промышленная теплотехника. — 2005. — № 1. — С. 78—85.
2. Паливно-енергетичні ресурси України : Стат. зб. // Держкомстат України. — К, 1998. — 384 с.
3. Жовмір М. М. Ресурси біомаси для енергетичного використання в Україні / М. М. Жовмір, В. І. Недовесов, О. П. Смірнов // Енергетика і Електрифікація. — 2002. — № 6. — С. 38—45.
4. Гелетуа Г. Г. Развитие биоэнергетических технологий в Украине / Г. Г. Гелетуа, Т. А. Железная // Экотехнологии и ресурсосбережение. — 2002. — № 3. — С. 3—11.
5. Коваленко Г. В. Исследование сжигания торфа и его смесей с древесиной в 2-х и 3-х камерных топках / Г. В. Коваленко, О. Е. Хлебников, А. А. Халатов // Промышленная теплотехника. — 2005. — № 3. — С. 50—55.
6. Халатов А. А. Сжигание и газификация альтернативных топлив / А. А. Халатов, И. И. Борисов, С. Г. Кобзарь // Промышленная теплотехника. — 2006. — № 4. — С. 53—63.
7. Отработка элементов технологии газификации местных видов топлива и органических отходов в обращенном режиме / [В. Н. Соловьев, Л. А. Бида, Г. И. Фокина и др.]. — Минск, 2003. — 37 с. — (Препринт/НАН Беларуси. Объединенный энергетич. и ядер. исслед. — Сосны; ОИЭЯИ — 9.
8. Хлебников О. Е. Исследование двухстадийного сжигания торфа, бурого угля и их смесей с древесиной / О. Е. Хлебников, Г. В. Коваленко, А. А. Халатов // Промышленная теплотехника. — 2005. — № 2. — С. 67—72.
9. Энергетическое использование древесных отходов / [С. И. Головкин, М. Ф. Коперин и др.]. — М. : Лесная промышленность, 1987. — 224 с.
10. Гинзбург Д. Б. Газификация твердого топлива / Д. Б. Гинзбург. — М. : Государственное изд-во литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам. — 1958. — 300 с.
11. Альтшулер В. С. Методы интенсификации работы промышленных газогенераторов / В. С. Альтшулер. — М. : изд-во АН СССР., 1955. — 31 с.
12. Альтшуллер В. С. Новые процессы газификации твердого топлива / В. С. Альтшулер. — М. : Недра, 1976. — 280 с.
13. Железная Т. А. Современное состояние и перспективы развития технологий газификации биомассы с целью выработки электроэнергии / Т. А. Железная, Г. Г. Гелетуа, Н. М. Жовмир // Промышленная теплотехника. — 2006. — Т. 28, № 2. — С. 60—70.
14. Белосельский Б. С. Низкосортные энергетические топлива: особенности подготовки и сжигания / Б. С. Белосельский, В. И. Барышев. — М. : Энергоатомиздат, 1989. — 136 с.
15. Попов А. В. Управляемый процесс газификации биомассы / А. В. Попов, А.Ф. Рыжков // Промышленная энергетика.

тика. — 2008. — № 1. — С. 27—31.

16. Anil K. Rajvanshi. Biomass Gasification [Електронний ресурс] / Anil K. Rajvanshi. — Режим доступу : <http://nariphaltan.virtualave.net/gasbook.pdf>

17. Токарев Г. Г. Газогенераторные автомобили / Г. Г. Токарев. — М. : МАШГИЗ, 1955. — 204 с.

18. Gasification of biomass – an overview on available technologies. [Електронний ресурс] : 1-st european summer school on renewable motor fuels. Birkenfeld, Germany, 29—31 August 2005. — Режим доступу : <http://www.baumgroup.de/Renew/ documents>.

Рекомендована кафедрою теплоенергетики

Стаття надійшла до редакції 25.11.10

Рекомендована до друку 23.12.10

Ткаченко Станіслав Йосипович — завідувач кафедри, **Боднар Лілія Анатоліївна** — старший викладач, **Юзюк Андрій Олександрович** — аспірант.

Кафедра теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, Вінниця