

УДК 536.46

В.П.Клюс¹, канд.техн.наук, Є.Г.Новицька² (Інститут відновлюваної енергетики НАН України, Київ)

Термічна утилізація радіоактивно забрудненої деревини Чорнобильської зони для виробництва електроенергії

Виконано аналіз методів термічної утилізації радіоактивно забрудненої деревини Чорнобильської зони. Встановлено, що найменша емісія радіонуклідів в атмосферу відбувається при газифікації та вібраційному спалюванні деревини. Рекомендовано використовувати газифікацію для утилізації деревини та виробництва електроенергії на ТЕС. Бібл. 5, рис. 1.

Ключові слова: радіоактивно забруднена деревина, спалювання, газифікація, виробництво електроенергії.

ORCID: ¹0000-0001-8536-3211; ²0000-0001-9217-4099

Вступ. Зона радіоактивного забруднення є частиною території України з особливою формою управління. 01.08.2015 р. вступив у силу Закон "Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо врегулювання окремих питань правового режиму території, що зазнала радіоактивного забруднення внаслідок Чорнобильської катастрофи". Ухвалення цього Закону допоможе вирішити у зоні відчуження питання розпорядження землями державної власності, врегулювати видачу дозволів на викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря та ряд інших питань.

Постановка завдання. Одним із найбільш перспективних проєктів, спрямованих на реабілітацію забруднених територій, є започаткування вирощування на території забруднених районів енергетичних культур з організацією подальшого їх використання для виробництва біопалива та генерації електричної енергії з цього палива в Чорнобильській зоні.

В Чорнобильській зоні знаходиться 150 тис. га лісів, з яких 70 тис. га відносяться до категорії чистих. Площа сільгоспугідь становить 40-50 тис. га.

Енергетичний потенціал деревини лісів можна орієнтовно визначити за формулою:

$$P_{дер} = 0,7 \cdot S_{дер} \cdot V_{дер} \cdot Q_{дер}, \text{ т н.е.}$$

де 0,7 – перевідний коефіцієнт умовного палива в нафтовий еквівалент; $S_{дер} = 150$ тис. га – площа лісів; $V_{дер} = 186 \text{ м}^3/\text{га}$ – вихід щільної деревини з 1 га лісу; $Q_{дер} = 0,265 \text{ т у.п./м}^3$ – теплотворна

здатність щільної деревини при заготівлі.

Розрахунки показують, що $P_{дер} = 5,17$ млн т н.е., а з урахуванням біомаси дерев і кущів, які виростили на необроблюваних сільгоспугіддях, $P_{дер} \approx 6$ млн т н.е. Частину деревини лісів необхідно буде утилізувати в Чорнобильській зоні.

Значний ресурс біомаси можуть дати енергетичні культури. Відомо, що ряд енергетичних культур (топінамбур, ріпак, верба енергетична, міскантус та ін.) у процесі росту вбирають із ґрунту радіонукліди, при цьому зменшується радіаційне забруднення ґрунту та поліпшується його якість. Досвідом реалізації програм щодо відродження окремих радіаційно забруднених територій встановлений достовірний вплив рослин ріпаку на перерозподіл радіонуклідів в орному шарі ґрунту. Так, вирощування ріпаку на радіаційно забруднених землях дає змогу щорічно з одного гектара виносити до 5 МБк водорозчинних форм ^{90}Sr та ^{137}Cs . Окрім радіологічної ефективності 1 га посівів ріпаку дає близько 1 т біодизелю та 3,5-6,4 т соломи.

За даними Житомирського агроєкологічного університету основна маса ^{137}Cs в період дозрівання ріпаку переходить у його насіння (44-60%); ^{90}Sr в основному розподіляється в соломі. Таким чином, після виробництва продукції ріпаковий шрот і соломі необхідно буде утилізувати.

Результати. Термічна утилізація радіоактивно забрудненої біомаси може відбуватися наступними способами: спалювання, піроліз, газифікація.

Розглянемо переваги і недоліки кожного способу з точки зору емісії радіонуклідів. Необхідно забезпечити такі умови термічної утилізації, за яких відбувається максимальна фіксація радіонуклідів у золі і мінімальний їх винос із димовими газами.

Традиційна практика утилізації радіоактивно забрудненої деревини передбачає її спалювання в режимі дифузійного горіння. Деревина і рослинна біомаса в процесі горіння виділяють леткі речовини у вигляді піролізних газів, у яких міститься до 80% теплоти палива. Існує проблема зі спалюванням цих газів, оскільки в багатьох випадках згоряє лише їх частина, а інша виділяється у вигляді диму.

Повне згорання газів відбувається за таких умов:

1. Висока температура. Найбільш важкі гази згоряють при температурі біля 900°C. Досягти цієї температури складно, якщо біопаливо має значну кількість вологи. Чим більше вологи в паливі, тим більше витрачається теплоти на її випаровування. Нижчою стає температура горіння, а отже, і його ефективність.

2. Ефективне змішування газів із повітрям. Оскільки змішувати холодне повітря з дуже гарячими газами важко, треба щоб повітря попередньо прогрілося, аби забезпечити його високу турбулентність. Слід уможливити регулювання подавання повітря у топку, оскільки надто велика кількість повітря буде охолоджувати гази, а при малій кількості полум'я буде нерівним.

3. Простір та час. Для повного згорання палива необхідне більш тривале його перебування у топці, внаслідок чого зменшується потужність котла. Цей недолік можна компенсувати збільшенням зони горіння за допомогою передтопкового пристрою. Топка котла повинна бути достатньо великою, щоб частки сажі та коксу встигали згоріти до моменту їх виносу із топки з димовими газами.

При спалюванні сухої біомаси об'єм димових газів не набагато більший, ніж при спалюванні мазуту. В той же час при спалюванні вологої біомаси об'єм димових газів значно більший (за рахунок водяної пари). Для досягнення повного спалювання біомаси необхідний значно більший об'єм повітря. Інколи виникає необхід-

ність обмеження потужності котла, щоб не перевершити прийнятий об'єм газів, які проходять через поверхні нагріву котла. Допустимий об'єм газів залежить також від вмісту в них легкої золи, що може привести до ерозійних пошкоджень. Високий вміст легкої золи у димових газах приводить до того, що на поверхнях нагріву утворюються відкладення, які ускладнюють теплопередачу, що викликає зменшення ККД і підвищення температури димових газів. Оскільки вміст сірки в біомасі незначний, температура димових газів може бути знижена до 100-120°C без ризику сірчаної корозії.

Перелічені вище фактори часто приводять до зменшення теплової потужності котла на 30-40% при спалюванні вологого палива.

Межа між сухим і вологим біопаливом знаходиться біля 30% вологості. Вища межа вологості 55%. Якщо вологість палива більша, дуже важко досягти задовільного горіння у непристосованому для такої вологості обладнанні. На рис. 1 схематично показаний вплив вологості біопалива на обладнання.

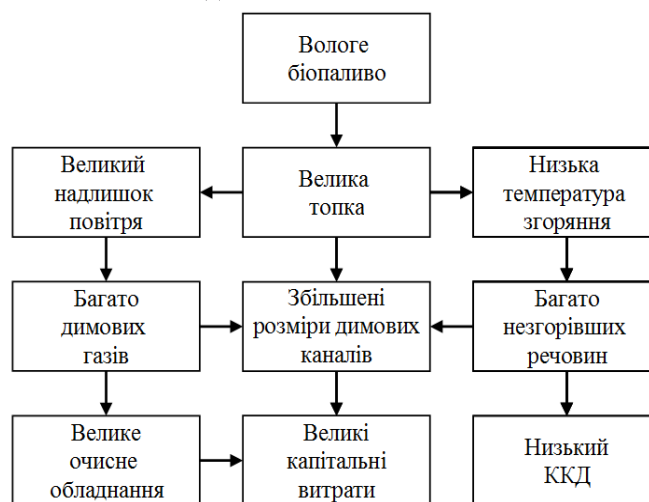


Рис. 1. Вплив вологості біопалива на котельне обладнання.

Деревина Чорнобильської зони має природну вологість понад 30%, тому її буде складно спалювати навіть на сучасних ТЕС.

Великий вплив на міграцію радіонуклідів має спосіб і температура спалювання. Так, за результатами останніх досліджень встановлено, що при переході від режиму дифузійного до вібраційного горіння відбувається різке зменшення температури полум'я від 900°C (дифузійне горіння) до 650°C. В

інтервалі температур 700-850°C режими і температура горіння мало впливають на вміст радіонуклідів у золі.

З підвищенням температури понад 850°C вміст у золі ^{137}Cs зменшується і збільшується винос із димовими газами, при цьому інтенсивність виносу суттєво більша в режимі дифузійного горіння.

Встановлено, що в режимі вібраційного горіння в золі накопичується у 1,5-2,0 рази більше радіонуклідів, ніж у режимі дифузійного горіння [1]. Таким чином, вібраційне спалювання деревини має перевагу перед дифузійним.

Піроліз деревини. Процес пірогенетичної переробки деревини достатньо давно використовується в промисловості для виробництва деревинного вугілля, проте вплив радіоактивного забруднення на якість продуктів піролізу досліджений мало. Так, лише за даними роботи [2] встановлено:

- в деревинному вугіллі вміст ^{90}Sr і ^{137}Cs збільшується в 3,4-3,8 разів, ніж у вихідній деревині;
- в рідких продуктах піролізу вміст ^{90}Sr і ^{137}Cs зменшується.

Встановлені граничні значення питомої активності деревини 20 Бк/кг для ^{137}Cs і 90 Бк/кг для ^{90}Sr , які забезпечують виробництво безпечних продуктів піролізу. При більших концентраціях радіонуклідів деревинне вугілля слід розглядати як паливо для подальшої переробки в енергію.

На теперішній час безпечно деревинне вугілля набуває найбільшої популярності в сільськогосподарському секторі для покращення якості ґрунту і підвищення врожайності, а також для вирішення екологічних проблем шляхом вилучення CO_2 з атмосфери. Для довгострокового та надійного видалення вуглекислого газу з атмосфери існує тільки один можливий метод: знизити темп, яким цей газ із зібраної біомаси внаслідок спалювання або мікробіологічного розпаду потрапляє назад до атмосфери [3].

Газифікація деревини. На даний час у світі для газифікації деревини використовується багато різних технологій. За даними роботи [1] емісія ^{137}Cs з генераторним газом при газифікації радіоактивно забрудненої деревини менша, а із золою – більша, ніж при дифузійному спалюванні.

Об'єм генераторного газу майже в 2 рази менший, ніж димового, що спрощує систему газоочистки.

Враховуючи, що за високої температури газифікації збільшується вміст радіонуклідів у генераторному газі, перевагу слід надавати низькотемпературній газифікації (до 850°C). Такий температурний режим забезпечує новий спосіб енерготехнологічного перетворення палива, відомий під назвами: "часткова газифікація", "газифікація із зустрічною тепловою хвилею", "газифікація з рухомою зоною" [4]. За цим способом газифікація палива відбувається у дві стадії. На першій стадії деревина перетворюється у горючий газ із тепловою згоряння 6,75 МДж/м³ і біовугілля (30% від сухої маси). На другій стадії біовугілля газифікується до золи. Переваги часткової газифікації:

1. Простота апаратного оформлення.
2. Екологічна безпека. Ароматичні речовини і смоли крекінгуються всередині газогенератора з утворенням горючого газу з мінімальним вмістом смол.
3. Низька швидкість фільтрації газів у газогенераторі (0,02-0,03 м/с), внаслідок чого відсутній винос твердих частинок із генераторним газом.
4. Виробництво побічного продукту. З рубашки охолодження газогенератора відбирається гарячий теплоносій у вигляді води або повітря.

Висновки та рекомендації. Сучасний стан утилізації радіоактивно забрудненої деревини наступний. За інформацією сайту Державного агентства України з управління зоною відчуження [5] в кінці 2015 р. у м. Чорнобиль було запущено експериментальну установку зі спалювання радіоактивно забрудненої деревини. Зола після спалювання заповнюється у спеціальні бочки ємністю 200 л і транспортується у сховище радіоактивних відходів. Димові гази проходять систему очистки і викидаються в атмосферу. Установка працює в тестовому режимі. Проте, як показав попередній аналіз, дифузійне спалювання деревини дає найбільші викиди в атмосферу радіонуклідів. Вібраційне спалювання знаходиться на стадії експериментальних досліджень. Тому для термічної утилізації деревини і виробництва енергії в промислових масштабах, на наш погляд, доцільно використовувати газифікацію, часткову або повну.

Генераторний газ може використовуватися замість природного у котельні м. Чорнобиль. Наступний напрямок використання генераторного газу – це виробництво електроенергії на газопоршневих чи газотурбінних ТЕС. Газогенераторні установки можуть розміщуватися в районах із достатньою кількістю деревини, а для транспортування генераторного газу до ТЕС може бути задіяна наявна газорозподільча система природного газу.

1. Ю.В. Полежаев, В.Д. Гешеле, О.Г. Стоник, И.П. Раскатов и др. Снижение эмиссии ^{137}Cs в атмосферу при сжигании загрязненного радионуклидами твердого топлива в условиях возбуждения термоакустических автоколебаний и газодинамических пульсаций // Инженерно-физический журнал. – 2015. – Т.88, №2. – С. 364–370.

2. А.Ю. Сидоров. Пирогенетическая переработка древесины березы, подвергнутой радионуклидному загрязнению. Автореф. канд. дис. Красноярск. – 2012. – 15с.

3. Jan Hollan, Vojtech Klusak. Biouhel, nase steblo nadeje / Veronica: casopis pro ochranu pripody akrajiny. – Brno: Regionalni sdruzeni CSOP, 2009 – str.9

4. Ключ С.В., Жовмір М.М., Маслюкова З.В., Демчина В.П. Визначення основних показників та ефективності часткової газифікації біомаси в газогенераторі щільного шару з оберненим дугтям // Відновлювана енергетика. – 2016. – № 2 – С. 79–87.

5. <http://dazv.gov.ua/>.

REFERENCES

1. Polezhaev Yu.V., Geshele V.D., Stonik O.G., Raskatov I.P. et al. Reducing the ^{137}Cs emissions into the atmosphere from the combustion of solid fuels contaminated with radionuclides under excitation of thermoacoustic self-oscillation and gas dynamic pulsations // Inzhenerno-fizicheskiy zhurnal. – 2015. – Т. 88. – №2. – С. 364–370. (Rus)

2. Sidorov A.Yu. Pyrogenic processing of birch timber being radioactively contaminated. Thesis synopses. Krasnoyarsk. – 2012. – 15 p. (Rus)

3. Jan Hollan, Vojtech Klusak. Biouhel, nase steblo nadeje / Veronica: casopis pro ochranu pripody akrajiny. – Brno: Regionalni sdruzeni CSOP, 2009. – P. 9 ()

4. Klyus S.V., Zhovmir M.M., Maslyukova Z.V., Demchina V.P. Defining key indicators and partial gasification efficiency of biomass in a gas dense layer generator with reverse blowing // Vidnovliuvana enerhetyka. – 2016. – № 2. – P. 79–87.

5. <http://dazv.gov.ua/>.

В.П.Ключ, канд.техн.наук, Е.Г.Новицкая (Институт возобновляемой энергетики НАН Украины, Киев)

Термическая утилизация радиационно загрязненной древесины Чернобыльской зоны для производства электроэнергии

Выполнен анализ методов термической утилизации радиационно загрязненной древесины Чернобыльской зоны. Установлено, что наименьшая эмиссия радионуклидов в атмосферу происходит при газификации и вибрационном сжигании древесины. Рекомендуется использовать газификацию для утилизации древесины и производства электроэнергии на ТЭС. Библ. 5, рис. 1.

Ключевые слова: радиационно загрязненная древесина, сжигание, газификация, производство электроэнергии.

Klius V., Novytska E. (Institute of Renewable Energy, NAS of Ukraine, Kyiv)

Thermal utilization of radioactively contaminated wood in Chernobyl zone for power production

There have been analyzed methods of thermal radioactive contaminated wood recycling from Chernobyl zone. The lowest radionuclides emissions into the atmosphere occur during wood gasification and vibrated combustion. There has been suggested using gasification process for wood utilization and power generation at CHPs. References 5, figure 1.

Keywords: radioactively contaminated wood, combustion, gasification, power generation.

SYNOPSIS

Chernobyl zone contains 150000 hectares of forests, whereas 70000 hectares are considered ecologically clean. The farmland area covers 40000–50000 hectares. The total energy potential of wood is about 6 mln tons of oil equivalent. A significant resource of biomass can provide energy crops: artichoke, rape and willow. They absorb radionuclides from the soil while growing up. Radioactively contaminated forests and energy crops in Chernobyl zone must be disposed with minimal emissions of radionuclides into the atmosphere.

There have been considered the following methods of biomass thermal utilization: combustion, pyrolysis, gasification. The lowest emissions of radionuclides into the atmosphere were observed during gasification process. Experimental device for combustion radioactively contaminated wood works in since the end of 2015. According to the authors utilization of biomass for heat and power generation in the Chernobyl zone is advisable to use gasification, partial or complete.

Syngas can be used instead of natural gas in the Chernobyl heat boiler. And then syngas can be used for power production. Syngas plant can be placed in areas with plenty of wood. For transportation of syngas to a thermal power plant to be involved existing natural gas distribution system.

Стаття надійшла до редакції 26.08.16

Остаточна версія 06.09.16