

The level at which the cost of projects with the use of pin-analysis begins, is about 5 thousand euros. A simple analysis can be performed even on the basis of a small amount of data.

Given the high impact of pinch analysis, pinch methodology is a highly effective and relatively cheap energy saving method, even at its fairly high cost.

Punch technology in the food industry can be very promising, given the widespread use of thermal regimes in the processing of food products.

Keywords: energy saving, energy efficiency, heat regeneration, pin analysis, financial savings, heat exchangers, reconstruction, design, optimization.

Дата надходження до редакції: 14.09.2017

Рецензент: д.т.н., проф. Кундера Ч.

УДК 62-664.263

ШКІДЛИВІ ВИКИДИ ПРИ ЗГОРАННІ БІОМАСИ

С. Л. Семірненко, к.т.н, доцент
Сумський національний аграрний університет

В даний час гостро стоять проблеми, пов'язані з вичерпанням традиційних енергоносіїв та їх високою вартістю. Як вихід із ситуації, що склалася пропонується перехід на спалюванням паливної біомаси. Разом з тим існують проблемні питання, що пов'язані з використанням біомаси в якості палива. Викиди в атмосферу, що утворюються при повному і неповному згоранні палива на установках, що працюють на біомасі, потребують вивчення та аналізу, що дасть можливість сприяти раціональному використанню природних ресурсів, ефективному використанню енергії, зменшенню викидів двоокису вуглецю та інших шкідливих речовин в атмосферу.

При спалюванні біомаси необхідно застосовувати первинні заходи щодо зниження рівня викидів забруднюючих речовин, головним з яких є зменшення рівня вологості палива. Також необхідно налагодити управління процесом горіння і оптимізувати режими роботи котлів з урахуванням впливу на викиди занадто низької температури горіння, занадто короткого часу перебування палива в топці, нестачі/надлишку кисню.

Ключові слова: спалювання, шкідливі речовини, паливо, зниження, рівень викидів, біомаса, горіння, заходи.

Постановка проблеми в загальному вигляді. Спалювання різних видів палива призводить до впливів на навколишнє середовище в цілому, які в деяких випадках виявляються досить значними. Процес спалювання веде до надходження різних речовин в повітря, воду і ґрунт, причому викиди в атмосферу вважаються однією з глобальних екологічних проблем.

В даний час близько 12% світової потреби в енергії забезпечується спалюванням паливної біомаси. У країнах, що розвиваються близько 35% використовуваної енергії виходить в результаті спалювання біомаси, але велика її частина використовується не для промислових цілей, а в традиційних пристроях типу кухонних печей. У промислових країнах сумарний внесок паливних біомас у вироблену первинну енергію становить всього 3%, але очікується, що цей показник виросте, оскільки багато країн використовують паливні біомаси замість спалювання викопного палива з метою зменшення емісії парникових газів. Це головним чином включає спалювання паливних біомас в сучасних установках на комерційній основі (наприклад, установки для спалювання стружок для одночасного вироблення тепла і енергії). До інших застосувань відносяться побутові установки для опалення та приготування їжі, постачання тепла промисловим підприємствам.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Порушена проблема досліджується як у світовій, так і у вітчизняній науковій літературі. Україна активно співпрацює із закордонними організаціями, що працюють в галузі отримання енергії з біомаси: BTG Biomass Technology Group BV (Нідерланди); E.V.A., Austrian Energy Agency (Австрійське енергетичне агентство); KARA Energy Systems (Нідерланди); SCS Engineers (США); Danish Agricultural Advisory Centre (Датський сільськогосподарський консультативний центр); TNO - MEP (Нідерланди); University of Southern Denmark (Університет Південної Данії) та ін. [1, 2].

Виділення невирішеної раніше частини загальної проблеми. В даний час гостро стоять проблеми, пов'язані з вичерпанням традиційних енергоносіїв та їх високою вартістю. Як вихід із ситуації, що склалася пропонується перехід на спалюванням паливної біомаси. Разом з тим існують проблемні питання, що пов'язані з використанням біомаси в якості палива. Викиди в атмосферу, що утворюються при повному і неповному згоранні палива на установках, що працюють на біомасі, потребують вивчення та аналізу для зменшення негативного впливу на довкілля.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Вивчення та аналіз негативних явищ, пов'язаних зі спалюванням біомаси дасть можли-

вість сприятиме раціональному використанню природних двоокису вуглецю, ефективному використанню енергії, зменшенню викидів двоокису вуглецю та інших шкідливих речовин в атмосферу.

Виклад основного матеріалу дослідження. Викиди в атмосферу, що утворюються при спалюванні біомаси можна розділити на викиди при повному та неповному згоранні палива на установках, що працюють на біомасі.

Викиди в атмосферу, що утворюються при повному згоранні палива.

Двоокис вуглецю (CO_2) (діоксид вуглецю), джерелом якого служить вуглець, що міститься в паливі, є основним продуктом згорання усіх видів паливної біомаси. Вцілому, викид CO_2 в атмосферу є небажаним, оскільки CO_2 вважається основною причиною, що викликає парниковий ефект. Проте при спалюванні солом'яного біопалива кількість CO_2 , що виділяється, не перевищує кількості CO_2 , яка була пов'язана рослинами під час їх зростання. Також при спалюванні соломи виділяється така ж кількість CO_2 , що і при її розкладанні, яке є основною альтернативою використанню соломи для виробництва енергії. Таким чином солома вважається нейтральним паливом по CO_2 .

Оксиди азоту (NO_x). Сума оксидів азоту NO і NO_2 , що позначається NO_x , утворюється в процесі горіння в результаті трьох різних процесів: термічний NO_x утворюється при високій температурі (відповідні концентрації утворюються при температурі $>1300^\circ\text{C}$) в результаті окислення азоту повітря; швидкий NO_x утворюється в результаті згорання вуглеводнів молекулярного азоту з утворенням вільних радикалів; паливний NO_x утворюється з азоту, що міститься в паливі. Зазвичай NO_x як продукт окислення утворюється в максимальній кількості при високій якості горіння палива. Оскільки температура згорання біомаси в сучасних технологічних процесах складає від 800°C до 1200°C , паливний NO_x грає найбільш важливу роль у складі викидів. Викиди паливного NO_x зростають із збільшенням вмісту азоту в біомасі, коефіцієнта надлишку повітря і температури горіння до значення, при якому проміжні з'єднання азоту перетворюються в NO_x , N_2O , або N_2 . Проте доля паливного азоту, перетвореного в NO_x , зменшується із збільшенням вмісту азоту в паливі. Зазвичай рівень викидів NO_2 значно нижчий, ніж рівень викидів NO . Рівень викидів NO_x можна зменшити за допомогою первинних і вторинних заходів зниження рівня викидів.

Закис азоту (N_2O). Викиди N_2O утворюються при повному окисленні азоту, що міститься в паливі. Хоча рівні викидів N_2O за даними вимірів на установках, що здійснюють спалювання біомаси, є дуже низькими, ці викиди в деякій мірі сприяють утворенню парникового ефекту із-за високого коефіцієнта глобального потепління

(КГП) N_2O і руйнуванню озону в атмосфері. Викиди N_2O можна зменшити за допомогою первинних заходів зниження рівня викидів.

Оксиди сірки (SO_x). Оксиди сірки утворюються в результаті повного окислення сірки, що міститься в паливі. При цьому утворюється, в основному, SO_2 ($>95\%$). Проте при нижчих температурах також можливе утворення деякої кількості SO_3 ($<5\%$). Джерелом сірки в соломі, що виділяється при спалюванні, являються з'єднання сірки, які поглиналися рослинами в період їх росту. Отже спалювання соломи не змінює загальної кількості сірки в довікллі, проте викид сірки з димом сприяє забрудненню повітря. Сірка, що міститься в паливі не повністю перетворюється в SO_x ; значна її частина залишається в золі, і деяка частина при нижчих температурах виділяється у формі солі (K_2SO_4) або у формі H_2S . Викиди SO_2 можна зменшити за допомогою первинних заходів зниження рівня викидів, таких як введення вапняку, або вторинних заходів.

При спалюванні соломи на спалювальних установках утворюється значно менша кількість викидів SO_x , чим при спалюванні мазуту або вугілля, які часто замінює біомаса. Якщо альтернативним паливом є природний газ, виробництво якого забезпечує відсутність в ньому сірки, використання соломи як паливо не дає ніяких переваг відносно вмісту SO у викидах.

Хлористий водень (HCl). Частина хлору, що міститься в паливі, виділяється у формі HCl . Солома має вміст хлору в межах 0,1 - 1,1%. Проте можливе утворення значних кількостей HCl з паливної біомаси. Додаткова кількість хлору в соломі може виникнути при обробітку посівів пестицидами, що містять у собі складові хлору.

Хлор, що міститься в паливі, не повністю перетворюється в HCl ; його основна частина утворює солі (KCl , NaCl) в результаті реакції з K і Na , а мікроелементи виділяються у формі діоксину і компонентів органічного хлору. Як і двоокис хлору, хлористий водень HCl сприяє окисленню, проте швидше конденсується (утворюючи соляну кислоту), і, отже, може викликати не лише ушкодження матеріалів в місці утворення, але також завдавати шкоди рослинам.

Викиди HCl можна зменшити за допомогою промивання (кондиціювання) палива, що у ряді випадків використовується для очищення соломи, перебуванні її після збирання зернових на відкритому повітрі або за допомогою вторинних заходів зниження рівня викидів.

Частки, що утворюються при згоранні біопалива. Частки утворюються з декількох джерел. Вони включають зольний пил, що утворюється в результаті віднесення часток золи димовим газом, і солі (KCl , NaCl , K_2SO_4), що утворюються в результаті реакцій між K або Na і Cl або S . На великих установках, що працюють на біомасі, для зниження рівня викидів часток застосовуються

вторинні заходи по зниженню рівня викидів. Оптимальна конструкція паливної камери дозволяє в деякій мірі запобігти винесенню зольного пилу, який захоплюється з паливним газом. Зольний пил осідає на дно камери і потім видаляється як зольний залишок.

Важкі метали. Усі види палива з сирової біомаси містять деяку кількість важких металів (найбільш важливими з яких є Cu, Pb, Cd, і Hg). Ці важкі метали залишаються в золі або випаровуються, осідають на поверхню часток, що викидаються в атмосферу, або залишаються усередині зольних часток. Викиди важких металів можна зменшити за допомогою вторинних заходів зниження рівня викидів.

Викиди, що утворюються при неповному згоранні.

Наведені нижче речовини викидаються в атмосферу в результаті неповного згорання палива в установках на біомасі. Викиди, що утворюються при неповному згоранні, можуть бути викликані:

- неправильним змішенням повітря і палива в паливній камері, внаслідок чого утворюються локальні зони з недоліком повітря;

- недостатньою кількістю кисню;
- низькою температурою горіння;
- недостатнім часом перебування.

Ці змінні величини пов'язані одна з одною, хоча у випадках, коли є достатня кількість кисню, найбільш важливою змінною є температура.

Моноокис вуглецю (CO). Перетворення палива в CO₂ включає декілька елементарних етапів і шляхів різних реакцій. CO є найбільш важливим проміжним з'єднанням. У присутності кисню він окислюється, утворюючи CO₂. Швидкість окислення CO в CO₂ залежить, в основному, від температури.

Великі установки, що спалюють біомасу, зазвичай мають кращі можливості для оптимізації технологічного процесу, чим установки малої потужності. Тому рівень викидів зазвичай вище на установках малої потужності.

Існує оптимальний коефіцієнт надлишку повітря: високі коефіцієнти надлишку повітря знижують температуру горіння, а нижчі коефіцієнти надлишку повітря викликають неправильне змішення палива з повітрям. Крім того, достатній час перебування є важливою умовою забезпечення необхідного рівня викидів CO, в основному, тому, що CO є більш пізнім проміжним з'єднанням, ніж вуглеводні.

Незгорілі вуглеводні (CxHy). Метан (CH₄), що є газом прямої парникової дії, зазвичай розглядається окремо від інших вуглеводнів. При спалюванні біомаси він є важливим посередником в перетворенні вуглецю в CO₂, що міститься в паливі, і водню, що міститься в паливі, в H₂O. Інші незгорілі вуглеводні (CxHy), які також називають неметановими леткими органічними сполу-

ками, також є продуктами неповного згорання. Вони утворюються при виході летких з палива. Рівень викидів CxHy, що є більш ранніми посередниками, ніж вуглець, в цілому, нижче. Поліциклічні ароматичні вуглеводні (ПАУ), що є групою, яка містить сотні органічних компонентів, що складаються з двох або більш ароматичних кілець, складають особливу категорію вуглеводнів у зв'язку з їх корциногенністю. Вуглець, викиди метану і ПАУ та ін. утворюються при занадто низькій температурі горіння, занадто короткому часі перебування і недоліку кисню.

Частки. Викид часток, що утворюються в результаті неповного згорання, відбувається у формі часток сажі, вугілля або конденсату важких вуглеводнів (смола). Сажа полягає, в основному, з вуглецю і утворюється в результаті відсутності кисню в зоні полум'я або локального згасання полум'я. Частки вугілля, що мають низьку питому щільність, можуть захоплюватись в потік димового газу, особливо при високій швидкості потоку.

На великих установках, що працюють на біомасі для подальшого зниження рівня викидів часток використовуються вторинні заходи по зниженню рівня викидів. Оптимальна конструкція паливної камери дозволяє в деякій мірі запобігти винесенню зольного пилу.

Поліхлорований діоксин і фуран (ПХДД/Ф). Поліхлоровані діоксин і фуран є групою високотоксичних компонентів. Вони можуть утворюватися в процесі згорання паливної біомаси, що містить хлор при температурі 180–500°C і у присутності вуглецю, каталізатора (Cu) і кисню. Оскільки викиди ПХДД/Ф значною мірою визначаються умовами, при яких відбувається згорання і охолодження паливного газу, на практиці їх рівень коливається в широких межах. В основному, рівень викидів ПХДД/Ф, що утворюються при згоранні біомаси на установках, що використовують солому як паливо, нижче за рівня, що представляє ризик для здоров'я людей. Проте при спалюванні обробленої в процесі росту соломи хімічними препаратами, що містять, наприклад, хлор може легко утворюватися діоксин, якщо топка установки спеціально не обладнана для спалювання такого палива. Викиди ПХДД/Ф можна зменшити за допомогою первинних і вторинних заходів зниження рівня викидів.

Аміак (NH₃). Неповне перетворення NH₃ в окислені азотмісткі компоненти може призводити до утворення малих кількостей аміаку. Це відбувається в окремих випадках при дуже низькій температурі горіння. Також заходи по зниженню вторинного NO_x за допомогою введення NH₃ можуть призводити до збільшення рівня викиду NH₃ в результаті просочування NH₃. Викиди NH₃ можна зменшити за допомогою загальних первинних заходів зниження рівня викидів продуктів неповного згорання і за допомогою оптимізації процесу введення NH₃.

Озон (O₃). Озон є вторинним продуктом горіння, що утворюється в результаті реакцій в атмосфері за участю CO, CH₄ і NOx. Він є газом прямої парникової дії, який також впливає на довкілля в локальному і регіональному масштабі і є край небажаним побічним продуктом установок, що здійснюють спалювання біомаси. Викиди NH₃ можна побічно зменшити за допомогою зниження викидів від неповного згорання і за допомогою заходів зниження рівня викидів NOx.

Зниження рівня викидів шкідливих речовин досягається або за допомогою запобігання створенню таких речовин (первинні заходи), або видалення цих речовин з паливного газу (вторинні заходи).

Первинні заходи по зниженню рівня викидів спрямовані на зниження утворення або зниження рівня викидів в паливній камері. З цією метою застосовується ряд заходів, включаючи наступні заходи: зміна рівня вологості палива; зміна розмірів часток палива; вибір відповідного устаткування для спалювання палива; оптимізація управління процесом горіння; ступінчасте впускання повітря при спалюванні палива; ступінчасте спалювання і допалювання палива. На практиці ці заходи часто взаємопов'язані.

Вторинні заходи по зниженню рівня викидів. Вторинні заходи можуть застосовуватися з метою видалення компонентів викидів з топочно-го газу після його виходу з котла. Особливе значення має видалення часток при спалюванні во-

логої соломи. При спалюванні інших видів біомаси може вимагатися застосування додаткових вторинних заходів.

Компоненти, вміст яких можна знижувати із застосуванням вторинних заходів включають NOx, SOx, HCl, важкі метали, і ПХДД/Ф. Для видалення SOx (в основному, SO₂) розроблені вологі, сухі і волого-сухі одноразові процеси. Згорання соломи не є значним джерелом викидів SOx. Вологі одноразові процеси, які застосовуються для зниження викидів SOx, зменшують викиди HCl. Також комбінована екстракція HCl, SO₂ та ПХДД/Ф може виконуватися за допомогою адсорбентів, таких як активованій лігнін. Рівні викидів ПХДД/Ф можна знижувати за допомогою ефективного відділення часток при температурі, значно меншій, ніж температура синтезу. Викиди важких металів ефективно знижуються за допомогою пилозбірних пристроїв, таких як мішкові фільтри або електростатичні фільтри.

Висновки. При спалюванні біомаси необхідно застосовувати первинні заходи щодо зниження рівня викидів забруднюючих речовин, головним з яких є зменшення рівня вологості палива. Також необхідно налагодити управління процесом горіння і оптимізувати режими роботи котлів з урахуванням впливу на викиди занадто низької температури горіння, занадто короткого часу перебування палива в топці, нестачі/надлишку кисню.

Список використаної літератури:

1. Пилипчук А.С. Выброс загрязняющих веществ в атмосферный воздух при сжигании биомассы [Электронный ресурс] // Семинары и практические работы по экологии: сайт проекта «Энергия биомассы» в Беларуси <http://www.bioenergy.by/seminari>. – Презентация. – Минск, 2008. – Режим доступа: <http://www.myshared.ru/slide/96166>. – Загл. с экрана.

2. Применение энергии биомассы для отопления и горячего водоснабжения в Республике Беларусь / автор: Джон Вос; Программа развития ООН, Глобальный Экологический фонд, Проект Правительства Республики Беларусь [Электронный ресурс] // ЭСКО: Электронный журнал энергосервисной компании «Экологические системы». – 2006. – №2. – Режим доступа: http://escoecosys.narod.ru/2006_2/art92.htm. – Загл. с экрана.

Семирненко С.Л. Вредные выбросы при сгорании биомассы

В настоящее время остро стоят проблемы, связанные с исчерпанием традиционных энергоносителей и их высокой стоимостью. Как выход из сложившейся ситуации, предлагается переход на сжигание топливной биомассы. Вместе с тем существуют проблемные вопросы, связанные с использованием биомассы в качестве топлива. Выбросы в атмосферу, образующиеся при полном и неполном сгорании топлива на установках, работающих на биомассе, требуют изучения и анализа, что позволит способствовать рациональному использованию природных ресурсов, эффективному использованию энергии, уменьшению выбросов двуокиси углерода и других вредных веществ в атмосферу.

При сжигании биомассы необходимо применять первичные меры по снижению уровня выбросов загрязняющих веществ, главным из которых является уменьшение уровня влажности топлива. Также необходимо наладить управление процессом горения и оптимизировать режимы работы котлов с учетом влияния на выбросы слишком низкой температуры горения, слишком короткого времени пребывания топлива в топке, недостатка/избытка кислорода.

Ключевые слова: сжигание, вредные вещества, топливо, снижение, уровень выбросов, биомасса, горения, меры.

Semirnenko S.L. Harmful emissions from combustion of biomass

Currently, acute problems are associated with the exhaustion of traditional energy carriers and their high cost. As a way out of the current situation, it is proposed to switch to burning fuel biomass. At the same time, there are problematic issues related to the use of biomass as fuel. Emissions to the atmosphere, formed with complete and incomplete combustion of fuel in biomass-based plants, require study and analysis, which will contribute to the rational use of natural resources, the efficient use of energy, the reduction of carbon dioxide emissions and other harmful substances into the atmosphere.

Emissions into the atmosphere, which are formed during the combustion of biomass, can be divided into emissions at full and incomplete combustion of fuels at installations working on biomass.

Reducing the emissions of harmful substances is achieved either by preventing the formation of such substances (primary measures), or the removal of these substances from fuel gas (secondary measures).

Initial measures to reduce emissions are aimed at reducing the formation or reduction of emissions in a fuel cell. For this purpose, a number of measures are applied, including the following measures: change in the level of fuel humidity; change in the size of the fuel particles; the choice of the appropriate equipment for combustion of fuel; optimization of combustion control; step-by-step intake of air during combustion of fuel; step-by-step combustion and combustion of fuel. In practice, these activities are often interconnected.

Secondary measures to reduce emissions. Secondary measures may be used to remove the components of the flue gas emissions after it has left the boiler. Particular importance is the removal of particles during the burning of wet straw. Other types of biomass may require the use of additional secondary measures.

Key words: *combustion, harmful substances, fuel, reduction, emission level, biomass, combustion, measures.*

Дата надходження до редакції: 04.09.2017

Рецензент: д.т.н., проф. Павлюченко А.М.

УДК 620.9(083)

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА АЛЬТЕРНАТИВНЫХ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

М. Ю. Савченко-Перерва, к.т.н., доцент

С. М. Сабадаш, к.т.н., доцент

Л. Г. Рожкова, к.т.н., доцент

Сумський національний аграрний університет

Статья посвящена сравнительному анализу нетрадиционных источников энергии и выбору наиболее предпочтительного источника для автономного энергоснабжения различных устройств, в частности, сушилок сельскохозяйственной продукции, имеющих небольшую мощность. Альтернативные и возобновляемые источники энергии предпочтительны с точки зрения энергосбережения и экологической безопасности.

Ключевые слова: *альтернативные источники, ветроэнергетика, солнечная энергия, мощность, энергоносители.*

Постановка проблемы в общем виде. *На современном этапе развития возникли глобальные проблемы, от решения которых зависит будущее всего человечества. Одна из таких проблем - энерго- и ресурсосбережение, так как потребности в энергии возрастают многократно, стоимость энергоносителей увеличивается, запасы традиционных источников энергии иссякают. Добавляется и экологический кризис вследствие использования невозобновляемых ресурсов планеты. Изменения климата могут привести человечество к катастрофе. Решением данной проблемы является использование альтернативных и возобновляемых источников энергии. В энергобалансе некоторых из упомянутых государств доля возобновляемых источников энергии уже сейчас существенна, достигая 10-15 %, а в дальнейшем*

планируется достижение 30%-ной доли нетрадиционной энергетики в мировом энергобалансе.

Анализ последних исследований и публикаций. *К возобновляемым и нетрадиционным источникам энергии относятся, в частности, ветровая, солнечная, а также низко потенциальная теплота различных источников. Для данных видов энергии важно еще и то обстоятельство, что они могут быть автономными. Мировой опыт показывает, что оптимальное соотношение централизованных и децентрализованных электрогенерирующих мощностей в любой стране примерно равен 51:49 с небольшим преимуществом централизованной энергетики. В Украине соотношение централизованных и децентрализованных электрогенерирующих мощностей составляет 93:7, где только 7% децентрализовано, что обуславливает большие потери в энергетиче-*