

УДК 662.182

ТРИКАМЕРНА ПІЧ ДЛЯ СПАЛЮВАННЯ СУМІШІ ТОРФУ З ВІДХОДАМИ ДЕРЕВИНИ

О. В. Шіхабутінова, кандидат технічних наук

e-mail: oksana@vortex.org.ua

Анотація. *Наведено результати досліджень процесу горіння низькосортних палив, таких як торф, відходи деревини та їх суміші в теплогенераторі малої потужності. Встановлено, що на якість процесу спалювання впливає склад палива та підмішування до торфу відходів деревини. Визначено, що раціональна організація аеродинаміки камери згоряння покращила процес спалювання не тільки щодо зменшення викидів окислів азоту, а й окису вуглецю, а у деяких випадках додавання 50% відходів деревини зменшило кількість шкідливі викиди вдвічі.*

Ключові слова: *низькосортні палива, торф, відходи деревини, спалювання у шарі, шкідливі викиди*

Нині спостерігається значне подорожчання традиційних енергоносіїв, особливо імпортованих. Тому знаходження шляхів і методів використання для нагальних потреб дешевих місцевих палив, як додаткового енергоресурсу, є актуальним завданням. Відомо, що Україна і Білорусь володіє значними запасами торфу та деревини.

Розвідані запаси торфу в Україні складають приблизно 2,2 млрд. т, енергетичний потенціал яких становить 0,84 млрд. т умовного палива (у.п.). Видобуток торфу в Україні досяг максимуму в 1991 р. – 7471 тис. т та з 1995 року почав знижуватися [1]. Якщо він залишиться на рівні 1995 р., то цих запасів вистачить на 150...200 років. Добутий торф в основному використовується як паливо в комунально-побутовому секторі, головним чином у вигляді торф'яних брикетів. В країні існує відповідне технічне оснащення і на наявному обладнанні можливе виробництво брикетованого

торффу в кількості 700 тис. т на рік. Вартість теплової енергії, отриманої навіть з найбільш коштовного торф'яного брикету, на 10...30 % нижче вартості енергії з інших традиційних видів палива. В енергетичному балансі країни торф складає близько 0,3 % [1].

В Білорусі загальна площа торф'яних болот складає 2,9 млн. га, найбільш значні з них зосереджені в Поліссі. В країні розвідано понад 9000 торф'яних родовищ (в межах промислової глибини покладів) загальною площею 2,54 млн. га та первинними запасами торффу 5,65 млрд. т. Основні запаси торффу залягають на родовищах, які використовуються сільським господарством (1,7 млрд. т або 39 % запасів, що залишилися) чи на тих, що віднесені до природоохоронних об'єктів (1,6 млрд. т або 37 %). У розроблюваному фонді ресурси торффу Білорусі оцінюються в 260 млн. т, що становить 6 % запасів, що залишилися.

Слід відзначити, що Білорусь вже має досвід державної комплексної програми «Торф» у 2008...2012 рр. з перспективою до 2020 рр. Основним висновком цієї програми, який стосується не тільки в Білорусі, а й України, є те, що для підвищення коефіцієнту використання покладів торффу і, таким чином, збільшення його видобутку, необхідне широке впровадження нових напрямків використання вироблених торф'яних родовищ – вироблення запасів торффу із залишенням 0,2...0,3 м захисного шару та повторне заболочування вироблених родовищ.

Сумарні потенційні ресурси відходів деревини в Україні, включаючи кору у лісовому господарстві та деревопереробних галузях промисловості, становлять 3743 тис. м³ [2], що еквівалентно 984 тис. т у.п. на рік. За даними [1] випливає, що лісове господарство, деревообробна та целюлозо-паперова промисловість не можуть спожити всі відходи деревини й тому можуть стати їх постачальниками. Невикористані ресурси відходів деревини становлять 2858 тис. м³, що відповідає 0,75 млн. т у.п. на рік. Зарубіжний досвід свідчить, що в існуючих котлах, які працюють на вугіллі, без суттєвої реконструкції можлива організація спалювання відходів деревини в кількості еквівалентній 4...10 % від енергії використаного палива [3]. В енергетичному балансі країни дрова

складають близько 0,4 % [1].

У Білорусі річний обсяг централізованих заготівель дров та відходів деревообробки становить приблизно 0,94...1,0 млн. т. у.п. Частина дров надходить населенню за рахунок самозаготівлі, обсяг якої оцінюється на рівні 0,3...0,4 млн. т у.п. Граничні можливості республіки з використання дров як палива можна визначити, виходячи з природного річного приросту деревини, який орієнтовно оцінюється в 25 млн. м³ або 6,6 млн. т у.п. на рік (якщо спалювати все, що росте), в т.ч. в забруднених районах Гомельської області – 20 тис. м³ або 5,3 тис. т у.п. З урахуванням того, що до 2015 р. планувалося збільшити вдвічі заготівлю ділової деревини, і за розробленою Програмою по використанню відходів деревини для виробництва теплової енергії, річний обсяг палива з деревини в 2016 р. зросте до 1,9...2 млн. т у.п.

Можна зробити висновок, що як в Україні, так і в Білорусі наявні запаси торфу і деревини можуть задовольнити частину загальних потреб у паливі. За більшістю прогнозів, перспективний розвиток української та білоруської енергетик буде розвиватися за «скандинавським сценарієм»: йдеться про зближення часток викопної, імпортової та поновлюваної енергосировини. У зв'язку з цим виникає потреба в розробці теплогенераторів, пристосованих для використання поновлюваних енергоресурсів.

Мета досліджень – вивчення процесу горіння низькосортних палив, таких як торф, відходи деревини та їх суміші, та розробка методу екологічно чистого їх спалювання.

Робота виконується в рамках спільного договору Національної академії наук України та Республіки Білорусь (Договір № 03–08–15).

Матеріали та методика досліджень. Такі палива, як торф і відходи деревини, є низькокалорійними і характеризуються великим виходом летких горючих. Інтенсивність горіння таких палив більш виражена на початку процесу і різко зменшується при догорянні коксового залишку. У зв'язку з цим, їх спалювання в традиційних теплогенераторах, особливо в агрегатах малої потужності, призводить до екологічної проблеми – викиду в атмосферу

продуктів згоряння, що нерідко містять значну кількість окису вуглецю (СО) і оксидів азоту.

У теплогенераторах малої потужності (до 6 МВт) застосовують шаровий спосіб спалювання твердого палива через його дешевизну і, ще тому, що в малому топковому обсязі важко організувати ефективне факельне горіння. Через велику кількість палива, що міститься в шаровій топці, стабілізація горіння, яке відбувається в дифузійній області, не представляє проблеми. Інтенсифікація спалювання за рахунок збільшенням подачі повітря, обмежується аеродинамічною стійкістю шару та унесенням його дрібних фракцій. Звідси виникають особливості створеної та випробуваної конструкції печі для шарового спалювання торфу і його сумішей з відходами деревини, перевага використання яких викликана не стільки різницею температур початку виходу летких горючих палива, що використовується, скільки більшою механічною міцністю шматків деревини:

1. Горіння шару відбувається на ступеневих колосникових ґратках.
2. Віднесення незгорілих часток палива зменшується при організації в топці вихору, як, наприклад, в топці Шершньова [4].
3. Перетиск козирком на виході з первинної камери згоряння не тільки сприяв сепарації золи і недогорілих часток палива, але й зменшив радіаційні втрати теплоти. Крім того, не являючись охолодженим, він виконав функцію «підпалючої палички».
4. Через те, що вологість використаного палива значна, первинна камера згоряння була теплоізолювана та «охоплена» каналом з опускним рухом газу.
5. Підвищена вологість частини паливної маси (торфу) призвела до того, що в первинній камері відбувається не тільки горіння, але й підсушування палива. Через це було раціональніше вести процес з нестачею повітря в первинній камері та допалюванням продуктів, що утворилися, у вторинній.

Однак у багатьох випадках при спалюванні низькосортних (вологих, високозольних, що розтріскуються в процесі горіння) палив застосування

двокамерного спалювання не вирішує всіх виникаючих проблем, до яких відносяться: підтримка високої температури принаймні на першій стадії згорання; необхідність достатньо тривалого перебування палаючих часток в зоні високих температур; можливість їх сепарації з потоку. Виконанню перерахованих задач в значній мірі сприяє організація додаткової камери, проміжної між первинною та камерою допалювання, з тим, щоб «розвести» процеси підсушування, газифікації та допалювання утворених продуктів.

Проведено дослідження процесу горіння торфу і його сумішей з деревиною при двостадійному спалюванні в печі, схема якої показана на рис. 1.

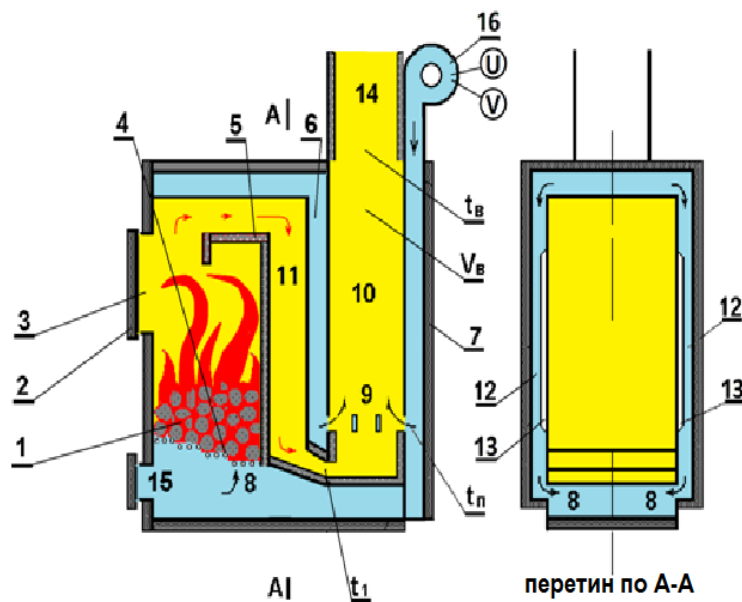


Рис.1. Схема експериментальної установки для спалювання суміші торфу з відходами деревини:

1 – паливо; 2 – завантажувальні дверцята; 3 – первинна камера; 4 – колосникові ґрати; 5 – вогнетривкий щиток; 6 – порожнина подачі та підігріву повітря; 7 – теплова ізоляція; 8 – первинне повітря; 9 – вторинне повітря; 10 – камера допалювання; 11 – камера з опускною течією газів; 12 – коробки для подачі первинного повітря під колосникові ґрати; 13 – ребра для інтенсифікації теплообміну з повітряної сторони; 14 – газохід; 15 – зольник; 16 – вентилятор

Паливо 1 періодично подавалося через завантажувальні дверцята 2 до первинної камери 3 на ступінчасті колосникові ґрати 4. Повітря під дією

вентилятора 16 надходило до порожнини 6 між корпусом та тепловою ізоляцією 7, розділялося на первинне 8, що подавалося в первинну камеру 3, та вторинне 9, що надходило до камери допалювання 10. Співвідношення витрат повітря було підбрано так, що в первинній камері горіння йшло з нестачею окислювача (відбувався піроліз). Вторинне повітря 9, що подавалося в камеру 10 через тангенційні щілини, забезпечувало перемішування та допалювання продуктів піролізу, а далі гази викидалися в газохід 14. Незгорілі частки палива провалювалися через колосникові ґрати до зольника 15.

Дослідження проводилися при різних конструкціях печі. Відмінності між ними були такі: в модифікованій печі в коробах 12 на поверхні внутрішнього корпусу були приварені поздовжні ребра 13 для інтенсифікації теплообміну зі повітряної сторони; на виході з первинної камери 3 за допомогою вогнетривкого щитка 5 був утворений перетиск первинної камери.

При експериментальних дослідженнях використовувався брикетований торф (сел. Логін Житомирської обл.) і відходи деревини (сосна). Розміри брикетів торфу становили 155x67x26 мм, а характерні розміри шматочків деревини – 50x25x10 мм. Вологість торфу була 14 %, а деревини – 8 %. Маса завантаженого в піч палива в кожному досліді була однаковою та становила 6 кг. В процесі експериментальних досліджень вимірювалися та реєструвалися такі параметри: тиск, температура та швидкість повітря на вході до печі; температура на вході до камери опалювання t_1 ; температура відхідних газів t_6 ; швидкість і склад газу у вихідному газоході; вага, склад завантаженого палива та час його горіння.

Результати досліджень. На рис. 2 наведені зміни в часі температури на вході в камеру допалювання при горінні брикетів торфу в трикамерній печі з перетиском і без нього. У трикамерній печі без перетиску експерименти проводилися при двох витратах повітря: регульовальна заслінка після вентилятора відкрита повністю (номінальний режим); регульовальна заслінка відкрита наполовину.

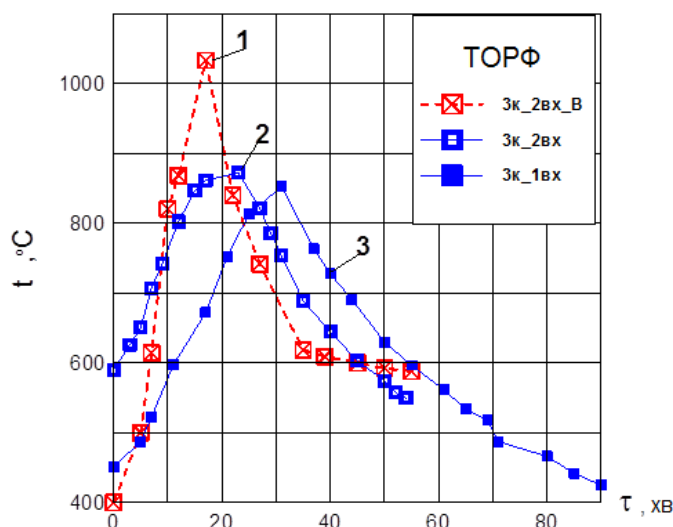


Рис. 2. Температура на вході в камеру згоряння при спалюванні торфу:

1 – трикамерна піч з перетиском; 2 – трикамерна піч без перетиску;

3 – трикамерна піч зі зменшеною витратою повітря

Як видно з рис.2, на початку процесу при виході летких горючих спостерігалось швидке зростання температури, а при горінні коксового залишку – її зниження. На початковій стадії процесу коефіцієнт надлишку повітря знаходився в діапазоні 1,4...2,2, в той час як на стадії догорання його значення становили від 5,7 до 6,4. Піч з перетиском забезпечувала максимальну температуру на виході з первинної камери на 113°C більше, ніж без нього. Порівняння кривих 1 і 2 показує, що збільшення часу перебування газів в первинній камері, як і слід було очікувати, істотно (приблизно в 1,3 рази) зменшило тривалість процесу вигорання летких. Порівняння кривих 2 і 3 ілюструє відомий факт, що інтенсивність горіння в шарових топках може регулюватися витратою повітря. Однак збільшення швидкості повітря, що продувається через шар палива, призводить до виносу з шару все більш великих часток, які можуть не встигнути згоріти в межах камери згоряння. Тому наявність в шарі палива значної кількості дрібних фракцій не дає можливості підвищити теплонапругу зони горіння. В літературі відома залежність якості шарового спалювання твердих палив від порізності шару та температурних умов [5–6].

Останнім часом збільшується кількість досліджень, присвячених горінню

сумішевих палив [6,7]. Виявляється, що процес спільного спалювання палив, що відрізняються температурою виходу летких горючих, дозволяє не тільки зменшити викиди окису вуглецю, а й окислів азоту [8]. У деяких країнах спільне спалювання викопних палив і біомаси заохочується законодавчо [9].

Була здійснена спроба забезпечити прийнятну порізність шару шляхом використання штучного каркасу з викидних матеріалів (відходи деревини), а також поліпшити якість спалювання підігрівом вторинного повітря.

Досліджені види палив відрізняються температурою початку виходу летких горючих. У дерева це 160 °С, у торфу – 100 °С. Різниця і в самій величині виходу летких: від 85 % – у деревини, до 65 % – у торфу. Теплота згоряння летких речовин найбільша у торфу – 20,9...23,8 МДж/кг, а найменша у деревини – 19,3 МДж/кг [4]. Поєднання палив з різними згаданими характеристиками дає принципову можливість поліпшити процес спалювання. Вміст золи в досліджуваних видах палив такий: у деревині (сосна) – 1,4 %; у торфу – 23,5 %. Швидкість газів у вихідному газоході в процесі спалювання 6 кг навіски палива змінювалася в порівняно вузькому діапазоні – 0,90...1,5 м/с.

На рис. 3 показані залежності зміни температури на вході до камери допалювання при спалюванні торфу і його сумішей з деревиною у співвідношеннях 50 % торфу – 50 % деревини та 75 % торфу – 25 % деревини. У прямокутниках наведені значення концентрацій окису вуглецю та окислів азоту, що перераховані до умов $\alpha = 1$ у відповідні моменти часу τ .

Внаслідок того, що температури початку виходу летких горючих у торфі та деревині близькі й тому, що їх леткі мало відрізняються за калорійністю, вплив добавки деревини незначний. Час вигорання порції чистого торфу більше часу горіння 50 % суміші з деревиною всього лише на 6 %. «Двогорбність» кривої зміни температури на вході до камери допалювання t_1 для 50 % суміші з деревиною пояснюється різницею початку виходу летких у деревині і торфі. В основному, при горінні чистого торфу концентрація викидів окису вуглецю вище, ніж при горінні сумішей з деревиною при приблизно однакових концентраціях окислів азоту. Порівняння концентрацій СО при відповідних

температурах дає різницю від 36 % до 50 %. Збільшення концентрації СО спостерігається завжди при знижених температурах підігрівання повітря, що надходить до первинної камери.

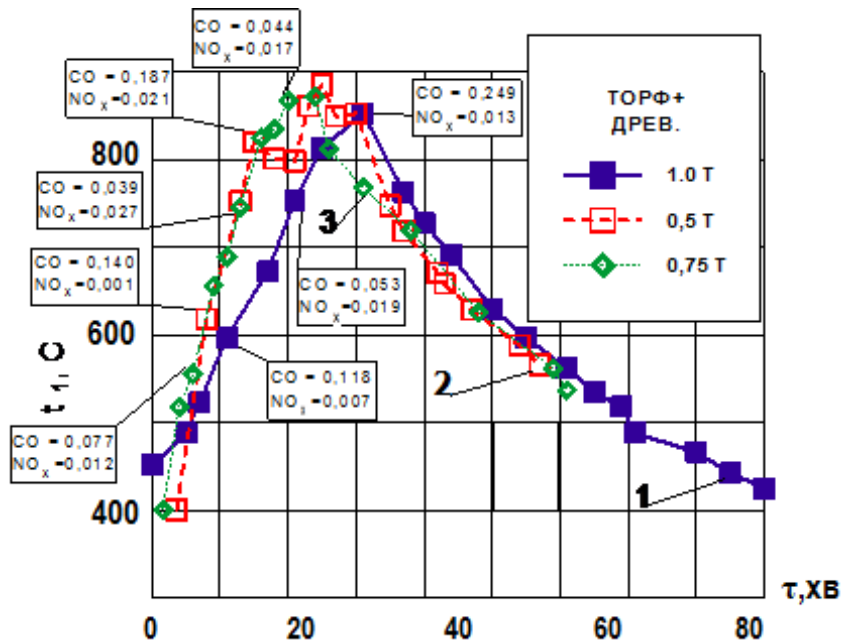


Рис.3. Температура на вході до камери допалювання t_1 при спалюванні торфу та його сумішей з деревиною:

1 – 100 % торфу; 2 – 50 % торфу та 50 % деревини; 3 – 75 % торфу та 25 % деревини

Можна зробити висновок, що збільшення часу перебування газів в первинній камері призвело до поліпшення процесу горіння твердих палив і зменшення шкідливих викидів. Зустрічний рух палива і окисника дозволив ефективно спалювати в шарі навіть низькосортні палива. Підігрів повітря, що подавалося до первинної камери, істотно покращив якість процесу спалювання.

Рис. 4 ілюструє позитивний вплив перетиску на виході з первинної камери на значення концентрації оксиду вуглецю в період розпалу печі. Максимальна концентрація цього шкідливого газу в результаті підвищення температури в первинній камері зменшилася в 1,68 рази.

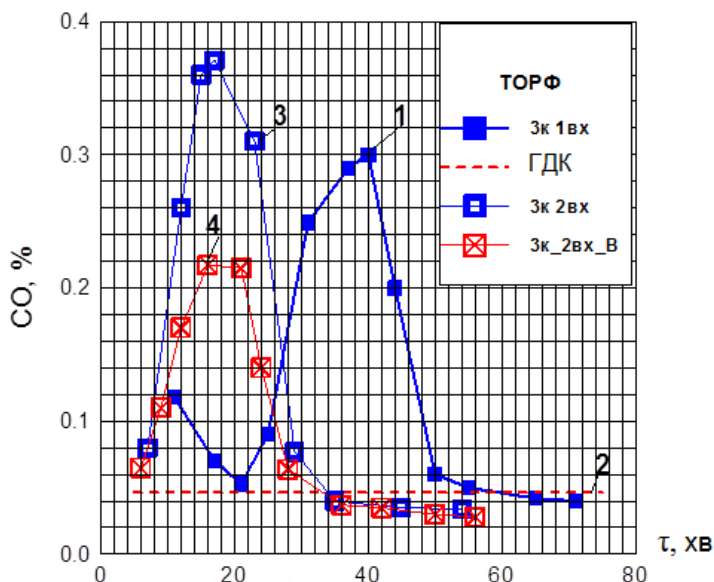


Рис. 4. Концентрації оксиду вуглецю на виході з печі під час розпалювання:

- 1 – трикамерна піч з половинною витратою повітря; 2 – гранично допустима концентрація; 3 – трикамерна піч з номінальною витратою повітря;
- 4 – трикамерна піч з номінальною витратою повітря та первинною камерою з перетиском

Невелика (до 3 м) витяжна труба долає гідравлічний опір додаткової камери і повітропідігрівача, що виключає необхідність використання димососу в конструкції створеного теплогенератора, а забезпечення його пристроєм безперервного чи періодичного завантаження паливом дозволяє рекомендувати його для широкого впровадження.

Висновки

Організація неохолодженого перетиску в зоні високих температур між первинною та камерою допалювання призвела до поліпшення процесу горіння твердих палив і зменшення шкідливих викидів. Зустрічний рух палива та окислювача дозволив ефективно спалювати в шарі низькосортні палива.

Підігрів повітря, яке подається до первісної камери, відхідними газами істотно покращив якість процесу спалювання. Додавання до торфу 50...25 % відходів деревини значно зменшило концентрацію викидів окису вуглецю (до 30 %). Забезпечення запропонованого теплогенератора пристроєм для безперервного або періодичного завантаження палива дозволить рекомендувати

його для широкого впровадження.

Список літератури

1. Паливно–енергетичні ресурси України: Статистичний збірник. – К.: Держкомстат України, 2014. – 533 с.
2. Жовмір М.М. Ресурси біомаси для енергетичного використання в Україні / [М.М. Жовмір, В.І Недевесов, О.П. Смірнов та ін.]. // Енергетика та електрифікація. – 2002.– № 6.– С. 38–45.
3. Tillman D.A. Cofiring benefits for coal and biomass / Tillman D.A. // Biomass and bioenergy.– 2000.–V. 19.– P. 363 – 364.
4. Хзмалян Д.М. Теория горения и топочные устройства. / Хзмалян Д.М., Каган Я.А. – М.: Энергия, 1976. – 488 с.
5. Armesto L. Biomass as reborn fuel to reduce nitrous oxide (N₂O) emissions from coal–fired circulated fluidized bed combustors (CFBCs) / Armesto L., Otero J., Boerrigter H. // 12th European Conference on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, 17–21 June 2002. – Amsterdam, The Netherlands, 2002. – Pp. 913–916.
6. Cowburn D.A. The reduction of emission from the combustion of biomass for domestic heating applications / Cowburn D.A., Holtman R.D., Berge N., Berg M. // Biomass for energy and industry. Proc. of the 10 th European Conf. C.A.R.M.E.N. Publisher. – 1998. – Pp. 1377–1379.
7. Kumazaki M. Deleted utilization of biomass energy in Japan – Its problems and prospect / Kumazaki M. // Japanese Journal of Paper Technology. – 2001. – Vol. 44, N 6. – Pp. 17–21.
8. Samaras P. Toxic emissions during co–combustion of biomass – Waste wood – Lignite blends in an industrial boiler / Samaras P., Skodras G., Sakellaropoulos G. P. // Chemosphere. – 2001. – Vol. 43, N 4–7. – Pp. 751–755.
9. Hus P. J. Cofiring multiple opportunity fuels with coal at Bailly Generating Station / Hus P. J., Tillman D. A. // Biomass and Bioenergy. – 2000. – Vol.19, N 6. – Pp. 385–394.

ТРЕХКАМЕРНАЯ ПЕЧЬ ДЛЯ СЖИГАНИЯ СМЕСЕЙ ТОРФА С ОТХОДАМИ ДРЕВЕСИНЫ

О.В. Шихабудинова

Аннотация. *Приведены результаты исследований процесса горения низкосортных топлив, таких как торф, отходы древесины и их смеси в теплогенераторе малой мощности. Установлено, что на качество процесса сжигания влияет состав топлива и подмешивание к торфу отходов древесины. Установлено, что рациональная организация аэродинамики камеры сгорания улучшила процесс сжигания не только по отношению уменьшения выбросов окислов азота, но и окиси углерода, а в некоторых случаях добавление 50 % отходов древесины уменьшило количество вредных выбросов вдвое.*

Ключевые слова: *низкосортные топлива, торф, отходы древесины, сжигание в слое, вредные выбросы*

THREE-CHAMBER FURNACE FOR BURNING UP PEAT MIXTURES WITH WOOD WASTE

O. Shikhabudinova

Annotation. *Results of investigations of the combustion process of low-grade fuels such as peat, wood waste and its mixtures in the low-power heat generator has been given. It has been found that the burning process quality is substantially affected by the fuel composition and mixing the wood waste to the peat. It has been found that the rational organization of the aerodynamics of the combustion chamber has improved the combustion process not only in relation to the decrease in emissions of nitrogen oxides, but also carbon oxide and, in some cases, the addition of 50% wood waste has reduced the amount of harmful emissions by half.*

Key words: *low-grade fuels, peat, wood waste, combustion in layer, harmful emissions*