

УДК 662.66/74:621.662.61

СПАЛЮВАННЯ ДРІБНОФРАКЦІЙНОЇ БІОМАСИ В РЕЖИМІ САМОЗАЙМАННЯ У ВИХРОВОМУ ПОТОЦІ

Чмель В.М.¹, канд. тех. наук, Новікова І.П.²

¹Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Марії Канніст, 2а, м. Київ, 03057, Україна, chmel.valerii@gmail.com, <http://orcid.org/10000-0003-1394-7239>

²Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Марії Канніст, 2а, м. Київ, 03057, Україна, novikovaines@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0001-9612-286X>

<https://doi.org/10.31472/ttpe.4.2023.11>

У роботі наведені результати досліджень спалювань дрібно фракційної біомаси у вихровому потоці, з метою використання в якості альтернативного палива.

The paper presents the results of research on combustion of finely fractional biomass in a vortex flow, for use as an alternative fuel.

Бібл. 6, рис. 5.

Ключові слова: біомаса, горіння, самозаймання.

Вступ.

Біомаса, як відомо, відноситься до нетрадиційних джерел енергії і є четвертим за ознакою паливом, яке може бути використана в якості альтернативного палива традиційним – вугіллю, нафті та природному газу, які є основними складовими паливно-енергетичного балансу країни.

Біомаса, при використанні в якості альтернативного палива, має, практично, ті ж самі недоліки, як і низькоякісне низько реакційне вугілля: невисока теплота згоряння, а вміст вологи може бути в великих обсягах (більше 60%). Це значно ускладнює процес її спалювання: вимагає також попередньої підсушки для забезпечення сталого горіння та спалювання великих обсягів біомаси, для покриття теплових навантажень. Як показують дослідження, при використанні біомаси в якості палива необхідно враховувати їх паливні характеристики [1, 2].

Факельне спалювання дрібно фракційних відходів біомаси при застосуванні існуючих твердопаливних пальників малоефективне.

Досягненню ефективного спалювання дрібно фракційної біомаси перешкоджає недостатнє знання механізму горіння двофазного потоку: тверде паливо–повітря, який являє собою систему полі фракційних часток твердого палива, які горять спільно. При цьому загальний процес визначається головним чином закономірностями горіння самотньої частки, який залежний насамперед від кінетики реакції горіння.

Внаслідок цього в дійсний час не з'ясована природа механічного недопалу твердого палива і не створений аналітичний метод розрахунку пиловугільного факелу.

Як показали проведені в ІТТТФ НАН України досліді, найбільш ефективно спалювання палив в режимі самозаймання, який можна отримати доведенням палива до температури самозаймання його підігрівом. А так як при спалюванні палива в режимі самозаймання швидкість горіння найбільша (сягає безкінечності), то при цьому переважаючими складовими процесу є не кінетичні, а дифузійні процеси. Тому організація процесу у вихровій течії повинна забезпечувати високу якість суміш утворювання компонентів палива і високу ефективність його згоряння.

Реалізація процесу спалювання дрібно фракційної біомаси в режимі самозаймання найбільш ефективна за методом термохімічної обробки [3,4].

Згідно цього методу для реалізації процесу самозаймання відбувається вплив на реакційну здатність палива, що забезпечує ряд переваг: найбільшу швидкість процесу; найменшу залежність від якості палива; високу швидкість прогріву часток палива.

Спалювання палива в режимі самозаймання у вихровому потоці, при наявності зон зворотних струменів, які є джерелом підпалювання палива і стабілізації факелу, дозволить підвищити ефективність використання біомаси, створенням технології спалювання палив, а на її основі, і пальникових пристроїв.

Метод і методика досліджень.

Для проведення експериментальних досліджень по спалюванню дрібно фракційної біомаси у вихровому потоці в режимі самозаймання була побудована дослідна модель рис.1, яка являє собою коаксіальний паливний сопловий блок з завихрювачами, в якому розташовані два канали: зовнішній – канал окислювача 4, внутрішній – канал пального 3. Сопловий блок побудований так, що дозволяв отримувати як затоплений, так і супутній двофазний струмінь: окислювач – пальне.

В обидва канали поступає повітря, а в канал пального через штуцер 2 завантажуються дрібно фракційне тверде пальне.

На вході каналу пального при дослідженні закручених струменів встановлюється заглушка 1. Закручення пального здійснюється кільцевим струменем–равликом, а окислювача–лопатеvim апаратом 5.

Поперечні перерізи сопел вибрані відповідно до рекомендованих для вихрових пальників рекомендацій: швидкість вторинного повітря приймається в 1,5 рази вище швидкості первинного і дорівнює в середньому 30 м/сек.

Канал окислювача має наступний безрозмірний інтегральний параметр крутіння, який визначає аеродинамічні характеристики закручених струменів – вихрів, $n = 0,385$.

Канал пального при проведенні дослідів дозволяв отримувати параметр крутки від $n = 1,0$ до $n = 3,0$.

При дослідженнях використовувалось дрібно фракційне паливо рослинного походження: лузга проса, тирса дуба, солома пшениці, костра льону та відходи меблевого виробництва.

Лузга проса мала природні розміри – 1,5 – 3мм, тирса дуба і відходи меблевого виробництва, а також

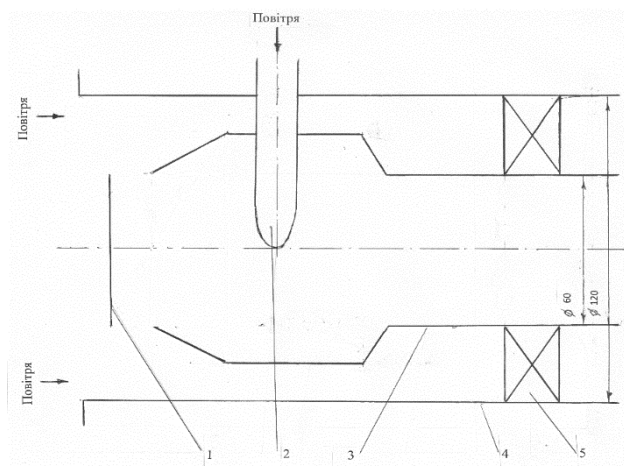


Рис. 1. Дослідна модель

подрібнена лузга проса та костра льону в загальній масі мали розмір від 0 до 0,5мм. Частки соломи мали розмір – 2-3мм.

Досліди провадилися при швидкості окислювача 20м.сек. та швидкості пального 10м.сек. При цьому параметр крутки каналу пального n дорівнював 1 та 3.

Результати досліджень.

Досліди горіння вихрового факелу біомаси показали (рис.2), що зона реакції в пограничному шарі починається у кромки сопла горючого у вигляді тонкої поверхні - фронту полум'я. Далі на відстані біля 5мм від сопла фронт полум'я потовщується до 1,5 - 2мм, а з відстані 15 – 20мм різко розширюється, заповнюючи пограничний шар.

Як показали результати досліджень, факел дрібно фракційного твердого палива, яке горить в режимі самозаймання, відрізняється від звичайного твердопаливного факелу. В той час як крупні частки палива в звичайному факелі, в наслідок зменшення кількості кисню, не догоряють і створюють так званий механічний недопал. В твердопаливному факелі при температурі самозаймання, хімічна реакція зі швидкістю, яка наближається до безкінечності. Горіння в цьому випадку відбувається подібно процесу в палаючому пограничному шарі. Вуглець часток палива взаємодіє з діоксидом вуглецю, який дифундує з фронту полум'я, а від часток до фронту дифундує оксид вуглецю. Таким чином можна констатувати, що тверде паливо в струмені високотемпературного газу носія під час горіння виступає як струмінь газового палива.

Показано, що при крутінні струменя пального довжина початкової ділянки зменшується, причому товщина пограничного шару залежить від параметру крутіння n і відповідає розвитку закручених струменів – більшим кутом розкриття струменя та меншою його далекобійністю чим у прямоточних струменів. При збільшенні параметру крутіння товщина пограничного шару, відповідно зони змішування, збільшується.

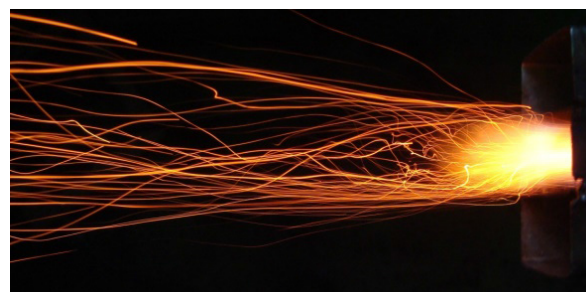


Рис. 2. Факел полум'я тирси дуба

● – $n = 0$, Δ – $n = 1$, + – $n = 3$

Отримані результати дослідів також узгоджуються з результатами роботи [5].

На рис. 3 показана залежність товщини зони змішування – пограничного шару від довжини початкової ділянки при різних параметрах крутки n .

При збільшенні параметру крутки товщина пограничного шару, відповідно зони змішування збільшується. Це відповідає тому, що пограничний шар є сильним джерелом неізотропної турбулентності, яка сягає 40 – 60% [6].

Товщина пограничного шару закручених струменів може бути визначена за виразом наведеним в роботі [5].

$$b = (c \cdot x \frac{1-m}{1-m} \frac{1+\rho}{2})$$

де: $\rho = \frac{\rho_1}{\rho_2}$ – відношення густини струменів окислювача та пального;

c – дослідний коефіцієнт;

$m = \frac{u_o}{u_c}$ – відношення швидкостей початкового перерізу.

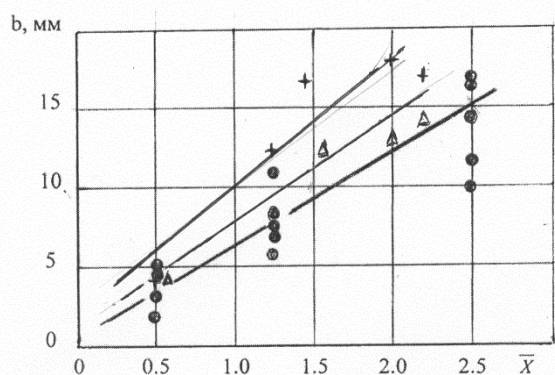


Рис. 3. Зміна товщини зони змішування

Дослідний коефіцієнт c залежить від параметру крутіння, ;при параметрі крутіння $n=0$ дорівнює 0,28 для прямоточного струменя.

На підставі проведених досліджень факелу дрібнофракційної біомаси в у вихровому потоці в режимі самозаймання окислювача в режимі самозаймання був створений спосіб спалювання дрібнофракційного твердого палива в основу якого покладений метод термохімічної обробки палив.

Метод спалювання двостадійний. В першій стадії у кільцевому вихровому потоці спалюється частка пального дрібнодисперсної біомаси з метою доведення її залишку до температури самозаймання, створюючи зону підігріву. В другій стадії залишок дрібнодисперсної біомаси спалюється у факелі в закрученому потоці окислювача.

На рис.4 показані факели різних палив. Як видно, вони короткі та широкі. Їх форма відповідає аеродинаміці закручених струменів – вихровому потоку.

Результати аналізу хімічного недопалу по довжині факелу (рис. 5) показали, що до 60% палива вигоряє в межах початкової ділянки як і в газовому факелі. Загалом вигорання палива, крім крупних часток, завершується на відстані $\bar{X} = 9 - 10$. Крупні частки, які виносяться з факелу згоряють у вигляді треків на відстані $\bar{X} = 30 - 50$ залежно від розмірів часток. Це можна добре бачити на рис.2.

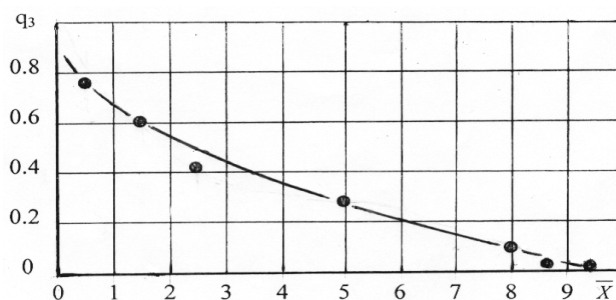
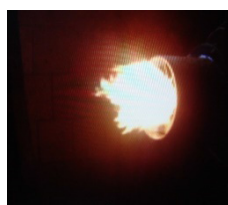


Рис. 5.Зміна хімічного недопалу по довжині факелу



1



2



3

Рис. 4. Факели різних палив при параметрі крутіння $n = 3$:

1 – солома; 2 – лузга проса; 3 – дубова тирса

Висновки.

На підставі проведених досліджень показано, що залежність товщини пограничного шару від параметру крутіння n відповідає розвитку закручених струменів – більшим кутом розкриття струменя та меншою його далекобійністю чим у прямоочних струменів. При збільшенні параметру крутіння товщина пограничного шару, відповідно зони змішування, збільшується. Це відповідає тому, що пограничний шар є сильним джерелом неізотропної турбулентності, яка сягає 40 – 60%.

Спалювання дрібно фракційної біомаси у факелі показало, що тверде паливо в струмені високотемпературного газу носія під час горіння виступає як струмінь газового палива. Тому організація процесу горіння у вихровій течії повинна забезпечувати високу якість суміш утворювання компонентів палива і високу ефективність згоряння факелу дрібно фракційної біомаси у вихровому потоці в режимі самозаймання. Це дозволило створити метод спалювання дрібно фракційного твердого палива.

Метод спалювання двустадійний. В першій стадії у кільцевому вихровому потоці спалюється частка пального дрібнодисперсної біомаси з метою доведення її залишку до температури самозаймання, створюючи зону підігріву. В другій стадії залишок дрібнодисперсної біомаси спалюється у факелі в закрученому потоці окислювача в режимі самозаймання.

Метод спалювання двустадійний. В першій стадії у кільцевому вихровому потоці спалюється частка пального дрібнодисперсної біомаси з метою доведення її залишку до температури самозаймання, створюючи зону підігріву. В другій стадії залишок дрібнодисперсної біомаси спалюється у факелі в закрученому потоці окислювача в режимі самозаймання.

Пальникові пристрої для спалювання дрібно фракційної біомаси в режимі самозаймання можуть знайти застосування в теплогенераторах сушильних установок підприємств будівельної індустрії, переробки продуктів сільського господарства, а також для опалювальних котелень систем теплокомуненерго та промислових підприємств.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Чмель В.М., Новікова І.П. Дослідження паливних характеристик відходів біомаси. // Відновлювана енергетика. 2006. - №4(7) – с.107-113.
2. Чмель В. Н. Использование биомассы в качестве альтернативного топлива. Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» //Альтернативная энергетика и экология. - 2012. - № 08 (112)- С. 60 - 65. - ISSN 1608-8298 .
3. Чмель В.Н., Дунаевская Н.И., Огий В.Н., Барбышев Б.Н. Повышение эффективности сжигания низкосортных топлив методом термохимической обработки // Известия вузов. Энергетика. – 1985. – № 3. – С. 96–100.
4. Использование метода термохимической обработки для сжигания низкокачественных углей. Чмель В.Н., Дунаевская Н.И. и др. «Химическая физика процессов горения и взрыва», Проблемы теплоэнергетики. Материалы VIII Всесоюзного симпозиума по горению и взрыву. Черноголовка, 1986, с.97.
5. Чмель В.Н., Любчик Г.Н., Христич В.А., Игнатов Е.Е. Исследование начального участка диффузионного факела в системе плоско-параллельных струй.– «Вестник Киевского политехнического института. сер. теплоэнергетики, 1970, вып.7, с.82-87.
6. Щетинков Е.С. Физика горения газов. М., «Наука», 1965, - с.740.

COMBUSTION OF SMALL-FRACTIONAL BIOMASS IN SELF-IGNITION MODE IN EDDY FLOW

Chmel V.M.¹, PhD (Engin.), Novikova I.P.²

¹*Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine, 2a, Marii Kapnist (Zhelyabova) Str., Kyiv, 03057, Ukraine, chmel.valerii@gmail.com, <http://orcid.org/10000-0003-1394-7239>*

²*Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine, 2a, Marii Kapnist (Zhelyabova) Str., Kyiv, 03057, Ukraine, novikovaines@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0001-9612-286X>*

<https://doi.org/10.31472/ttpe.4.2023.11>

Biomass, when used as an alternative fuel, has practically the same disadvantages as low-quality, low-reactivity coal: the heat of combustion is low, and the moisture content can be high (more than 60%). This greatly complicates the process of burning it: it also requires preliminary drying to ensure stable burning and burning of large volumes of biomass, to cover heat.

As the experiments carried out at the ITTTF of the National Academy of Sciences showed, the most effective burning of fuels is in the self-ignition mode, which can be obtained by heating the fuel to the self-ignition temperature. And since when burning fuel in auto-ignition mode, the burning speed is the highest (reaches infinity), then the predominant components of the process are not kinetic, but diffusion processes

The implementation of the process of burning finely fractionated biomass in the self-ignition mode is the most effective by the method of thermochemical treatment.

On the basis of the conducted studies, it is shown that the dependence of the thickness of the boundary layer on the twist parameter n corresponds to the development of swirling jets - a larger opening angle of the jet and its shorter range than that of straight jets. When the twist parameter increases, the thickness of the boundary layer, correspondingly the mixing zone, increases. This corresponds to the fact that the boundary layer is a strong source of non-isotropic turbulence, which reaches 40-60%.

Combustion of finely fractionated biomass in a torch showed that solid fuel in a jet of high-temperature carrier gas acts as a jet of gaseous fuel during combustion. Therefore, the organization of the combustion process in the eddy current should ensure a high-quality mixture of fuel

components and high combustion efficiency of the torch of finely fractionated biomass in the eddy current in the self-ignition mode. This made it possible to create a method of burning finely fractionated solid fuel.

The burning method is two-stage. In the first stage, a portion of fuel finely dispersed biomass is burned in the annular vortex flow in order to bring its residue to the self-ignition temperature, creating a heating zone. In the second stage, the remainder of the finely dispersed biomass is burned in a torch in a swirling flow of the oxidizer in the self-ignition mode.

Built on its basis, the new technology of burning finely fractionated biomass in self-ignition mode will allow the creation of small-sized burner devices that can have the same dimensions as gas burner devices.

Combustion devices for burning finely fractionated biomass in self-ignition mode can be used in heat generators of drying units of enterprises of the construction industry, processing of agricultural products, as well as for heating boiler rooms of heat and power systems and indust.

References 6, figures 5.

Key words: biomass, combustion, self ignition.

1. Chmel V.M., Novikova I.P. Doslidzhennia palyvnykh kharakterystyk vidkhodiv biomasy [Study of fuel characteristics of biomass waste]. Vidnovliuvana Energetyka [Renewable energy], 2006. №4(7). P.107-113. (Ukr.)

2. Chmel V.N. Ispolzovanie biomassy v kachestve alternativnogo topliva [Use of biomass as an alternative fuel.] mezhdunarodnyi nauchnyi zurnal «Alternativnaia energetika I ekologia» [International Scientific Journal "Alternative Energy and Ecology"] //Alternative Energy and Ecology. - 2012. - No. 08 (112) - P. 60 - 65. - ISSN 1608-8298. (Rus..)

3. Chmel V.N., Dunaevskaya N.I., Ogiy V.N., Barbyishev B.N. Povyshenie effektivnosti szhiganiya nizkosortnykh topliv metodom termohimicheskoy obrabotki [Improving the efficiency of burning low-grade fuels by the method of thermochemical treatment]. Izvestiya vuzov. Energetika [Izvestiya vuzov. Energy]. 1985. № 3. P. 96–100. (Rus.)

4. Ispolzovanie metoda termohimicheskoi obrabotki dlia sziganiyaniskokachestvennykh uglei. [Use of the thermochemical treatment method for burning low-quality coal.] Chmel V.N., Dunaevskaya N.I. et al. "Himicheskaiia fizika prosesov gorenia I vzryva, "Problemy teploenergetiky ["Chemical physics of combustion and explosion processes", Problems of thermal power engineering]. Materialy viii vsesouznogo sympoziuma po goreniu I vzryvu. [Materials of the VIII All-Union Symposium on Combustion and Explosion]Chernogolovka [Chernogolovka,] 1986, p.97.

5. *Chmel V.N., Lyubchuk G.N., Hristych V.A., Ignatov E.E.* Issledovanie nachalnogo uchastka difuzionnogo fakela v sisteme plosko paralel'nykh strui. [Investigation of the initial section of the diffusion torch in the system of plane-parallel jets.] – ‘Vestnik Kievskogo politehnicheskogo institute Seria teploenergetiki’ [“Bulletin of the Kyiv Polytechnic Institute.” ser thermal power engineering,] 1970, issue 7, p. 82-87.

6. *Shchetynkov E.S.* Fizika gorenia gazov [Physics of gas combustion.] M., "Nauka"[Nauka], 1965, - p. 740.

Отримано 30.08.2023

Received 30.08.2023

Прийнято до друку 23.11.2023

Accepted for publication 23.11.2023