

УДК 62-664.2

Схема спалювання деревних відходів у топці з циркуляційним киплячим шаром

Р. Л. Джиоєв¹

¹ асп. Харківський національний університет будівництва та архітектури, м. Харків, Україна, office@khgorgas.com.ua,
ORCID 0000-0003-4046-7038

Анотація. Циклонно-вихрова технологія спалювання твердого палива дозволяє зменшити топковий об'єм котельного агрегату, габарити і масу. Перемішування частинок палива і повітря в закрученому потоці забезпечує інтенсивний теплообмін і спалювання палива в обмеженому топковому об'ємі. У статті наведено результати вдосконалення теплової схеми спалювання пилоподібного палива (деревних відходів) в киплячому шарі, що циркулює. Результати чисельних розрахунків показують можливість спалювання тирси з діаметром частинок від 25 мкм до 750 мкм. При подачі паливоповітряної суміші знизу топки, а вторинного повітря зверху топки, видалення золи відбувається через щілину в нижній частині топки в рідкому вигляді. Встановлено, що при вологості тирси 10 %, зольності $A_s = 0,6\%$, вищій теплоті згоряння 17,7 МДж/кг винесення частинок становить 19,2 %, ступінь вигорання частинок становить 92,5 %. Це вимагає додаткового спалювання виносу в циркулюючому киплячому шарі.

Ключові слова: циклонно-вихрове спалювання палива, вихрові топки, кратність циркуляції палива

Вступ. Одним із способів покращення паливно-енергетичного балансу України є застосування альтернативних природному газу джерел теплоти, а саме твердого палива чи відходів деревної промисловості. При цьому необхідне залучення спеціалізованих технологій спалювання твердих палив. У наш час спостерігається неповнота теоретичних та практичних знань щодо процесів спалювання деревних відходів.

Актуальність роботи. У паливно-енергетичному балансі України значну частину займає використання природного газу як джерела теплової енергії. Для підвищення частки використання твердих видів палива необхідне більш детальне вивчення процесів їхнього спалювання та застосування способів інтенсифікації процесів теплообміну в топках твердопаливних котлів.

Останні дослідження та публікації. Спалювання біопалива вимагає вдосконалення топкового і котельного обладнання [1, 5, 7, 10, 11, 13]. Спалювання біопалива в котлах з нерухомим шаром і топках з киплячим шаром має такі проблеми:

- не забезпечено виконання екологічних вимог щодо зниження викидів оксидів азоту;
- підвищений коефіцієнт надлишку повітря;
- значні габаритні розміри топкової камери;
- високий механічний недопал.

Більш ефективним є застосування вихрових топок [2-5]. Основною перевагою вихрових топок є інтенсивне перемішування палива в топковому об'ємі, що дозволяє знизити коефі-

цієнт надлишку повітря до $\alpha_B = 1,15 \dots 1,35$ та хімічний недопал палива. При цьому вихрові топки малої потужності характеризуються підвищеним винесенням і механічним недопалом палива, що досягає 5...7 %. Вихрові топки характеризуються меншою глибиною регулювання теплової потужності порівняно з шаровими топками.

Створюються технології спалювання біопалива в топкових пристроях, які суміщають процес спалювання в шарі з вихровим допалом в надшаровому просторі [3, 4, 5]. Однак, дані теплові схеми несуттєво покращують топкові характеристики. Більш ефективними є топки, що поєднують високі параметри шарових і вихрових топок [6]. У роботах [6, 10, 11, 13] наведено результати спалювання деревних і сільськогосподарських відходів у водогрійному котлі потужністю 500 кВт з циклонно-шаровою топкою.

Більш ефективною є технологія спалювання твердого палива в шарі, що циркулює. Процеси гідродинаміки топкового контура, уловлювання частинок у сепараторі й повернення часток для допалювання визначають ефективність спалювання палива [9, 10]. Ефективність уловлювання частинок палива в сепараторі впливає на витрату палива, що циркулює. При спалюванні біопалива в топках з шаром, що циркулює, відбувається агломерація шару [10]. Зменшення діаметра частинок палива від 800 мкм до 200 мкм призводить до збільшення виносу в 3-5 разів [9].

Формулювання цілей статті. Метою даної роботи є чисельне дослідження технології

спалювання твердого палива в топках котлів малої потужності з шаром, що циркулює.

Основна частина. Зниження виносу пилоподібних частинок палива дозволяє зменшити кратність циркуляції частинок у контурі. Виконано чисельні дослідження трьох схем топки з вихровим спалюванням біопалива на рис. 1. Паливо подається в топку знизу спільно з первинним повітрям. Вторинне повітря подається в топку згори.

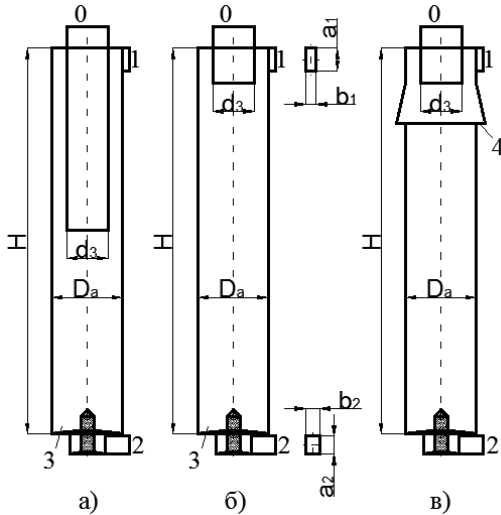


Рис. 1. Три схеми вихрової топки:

1 – патрубок подачі вторинного повітря; 2 – патрубок подачі палива і повітря; 3 – щілина для рідкого шлаку; 4 – щілина для твердого шлаку

Результати чисельного дослідження (табл. 1) параметрів різних схем спалювання твердого палива показують, що розглянуті схеми може бути використано в контурі з киплячим шаром, що циркулює. Перевагу має третя схема, яка характеризується високими сепараційними характеристиками і твердим шлаковидаленням. Ступінь вигорання коксу в частинках, які уловлюються, становить 82,5 %.

Схема топки з циркуляційним шаром (рис. 2) передбачає подавання паливоповітряної суміші до топки 1 через патрубок 2 в нижній частині вихрової топки. Зустрічний закручений потік вторинного повітря подається зверху патрубком 3. Зола в рідкому вигляді відводиться з топки крізь щілину 4. Тверді частинки коксу виносяться з топки 1, надходять до сепаратора 5, де відокремлюються й повертаються до топки для допалювання за допомогою пристрою 6.

Результати численних досліджень показали [7, 8, 12], що спалювання твердого палива в вихровій топці дозволяє зменшити об'єм топки та її габарити порівнянно з прямоплинними топками з киплячим шаром, що циркулює.

Таблиця 1.

Результати розрахунків.

Параметр, одиниця виміру		Схема топки на рис. 1		
		а	б	в
D_a , мм		600	600	600
H , мм		3645	3645	3645
$G_{\text{пал}}$, кг/с		0,184	0,184	0,184
$W_{\text{н}}$, МВт		2,55	2,55	2,55
Первинне повітря	Витрата $G_{\text{пов.1}}$, кг/с	1,26	1,325	1,325
	Температура $t_{\text{пов.1}}$, °С	377	377	377
Вторинне повітря	Витрата $G_{\text{пов.2}}$, кг/с	0,315	0,25	0,25
	Температура $t_{\text{пов.2}}$, °С	377	377	377
Загальна витрата повітря $G_{\text{пов.Σ}}$, кг/с		1,575	1,575	1,575
$\bar{Q}_{\text{пов.1}}$, %		80	84	84
$\bar{Q}_{\text{пов.2}}$, %		20	16	16
Коефіцієнт надлишку повітря	$\alpha_1 = m_{a1}/m_f \cdot V_0$	1,58	1,67	1,67
	$\alpha_{\Sigma} = m_{a\Sigma}/m_f \cdot V_0$	2,0	2,0	2,0
Діаметр частинок, мкм	мінімальний $d_{\text{ч.мін}}$	25	25	25
	максимальний $d_{\text{ч.макс}}$	250	250	250
	середній d	57	57	57
Температура відвідних газів на виході $t_{\text{г.вих}}$, °С		1888	1919	1870
Вміст кисню у відвідних газах $g_{\text{O}_2 \text{вих.сер}}$, %		3,4	3,2	3,8
Ступінь вигорання летких, %		100	100	100
Ступінь вигорання коксу з частинок, що виносяться, %		-	100	100
Ступінь вигорання коксу з частинок, що вловлюються, %		93,9	92,5	83,8
Ступінь вигорання коксу з частинок, що витають, %		-	100	100
Недопал механічний частинок, що вловлюються, % (горючої маси)		3,04	3,7	8,1
Недопал механічний частинок, що витають, % (горючої маси)		-	0	0
Уловлювання частинок, %		100	0,8	99,4
Винос частинок, %		0	19,2	0,4

У вихровій топці забезпечується більш повне вигорання коксу, що зменшує кратність циркуляції його частинок до двох, замість 6...7 для прямоплинної топки. При цьому знижується навантаження на високотемпературний сепаратор.

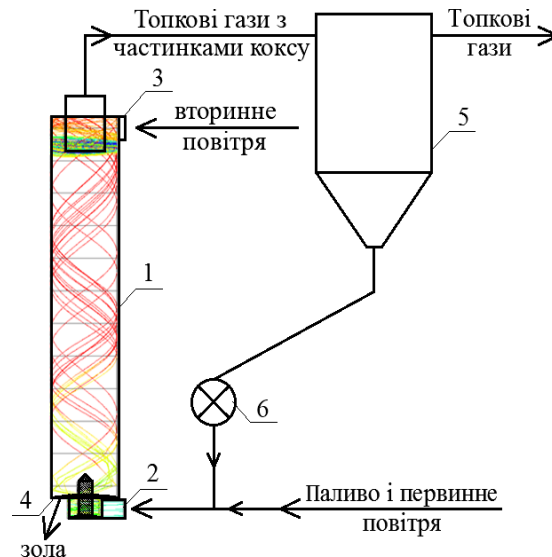


Рис. 2 Схема ЦКШ з вихровою топкою:

1 – топка; 2 – патрубок подачі паливноповітряної суміші; 3 – патрубок подачі вторинного повітря; 4 – щілина для видалення золи; 5 – сепаратор; 6 – пристрій повернення твердих часток коксу

Висновки. Результати чисельних розрахунків показали, що використання вихрової топки замість прямоплинної в схемі з шаром, що циркулює, збільшує час перебування частинок у топці. Це дозволяє знизити кратність циркуля-

ції палива, зменшити габарити та масу топки.

Перспективи подальших досліджень. В подальшому планується розглянути інші можливості інтенсифікації процесів теплообміну у киплячому шарі, що циркулює.

Література

1. Basu P. Biomass gasification and pyrolysis. Practical design and theory / P. Basu. – Academic Press, 2010. – 376 p.
2. Серант Ф.А. Сжигание немолотых азейских бурых углей в низкотемпературной топке по схеме ЛПИ — ИТЭЦ-10 / Ф.А. Серант, С.М. Шестаков, В.В. Померанцев и др. // *Теплоэнергетика*, 1983. – №7.
3. Rundygin Yu. A. Modernization of boilers based on low-temperature vortex technology for burning solid fuels / Yu. A. Rundygin et al. // *Energy: economics, technology, ecology*. – 2000. – №4. – pp. 19-22.
4. Shestakov S. M. Technology of Combustion of Local Solid Fuel Types / S. M. Shestakov, A. L. Aronov. – ESCO, 2014.
5. Баскаков А.П. Котлы и топки с кипящим слоем / А. П. Баскаков, В. В. Мацнев, И. В. Распопов. – Энергоатомиздат, 1996. – 352 p.
6. Пицуха Е. А. Особенности сжигания твердого биотоплива в циклонно-слоевой топочной камере / Е. А. Пицуха, Ю. С. Теплицкий, В. А. Бородуля // Тез. докл. XIV Минский международный форум по тепло- и массообмену. – Минск, 10–13 сент. 2012 г. – 2012. – Т. 2. – ч. 1. – С. 324-327.
7. Карп И. Н. Исследование динамики выгорания древесных опилок и лузги подсолнечника в кипящем слое / И.Н. Карп, А.Ю. Провалов, К.Е. Пьяных, А.С. Юдин // *Энерготехнологии и ресурсосбережение*. – 2010. – № 3. – С. 9-13.
8. Карп И. Н. Математическое моделирование процесса сгорания древесной частицы / И. Н. Карп, В. В. Колесник, В. Н. Орлик, К. Е. Пьяных, А. С. Юдин // *Энерготехнологии и ресурсосбережение*. – 2010. – № 5. – С. 13-20.
9. Бородуля А. В. Перспективы применения и методы расчета сжигания натурального и денсифицированного биотоплива в кипящем слое / А. В. Бородуля, Г. И. Пальченко // *Вести НАН Беларуси. Серия физико-технических наук*. – 2003. – № 3. – С. 116-123.
10. Рябов Г. А. Научное обоснование использования технологии сжигания твердых топлив в циркулирующем кипящем слое. дис. ... докт. техн. наук.: 05.14.14: защищ. 10.11.2016 / Рябов Георгий Александрович; ОАО «ВТИ». – Москва, 2016. – 291 с.
11. Вирясов Д. М. Псевдооживление и сжигание биотоплива в многокомпонентных слоях. Дис. ... канд. техн. наук.: 05.14.01: защищ. 23.05.2013 / Вирясов Дмитрий Михайлович; Фгбоу «Тамбовский государственный технический университет». – Москва, 2013. – 147 с.
12. Redko A. Numerical modeling of peat burning processes in a vortex furnace with countercurrent swirl flows / A. Redko, Y. Burda, R. Dzhyoiev, I. Redko, V. Norchak, S. Pavlovskiiy, O. Redko // *Thermal Science*. – 2021. – Vol. 25. – Iss. 3. – Part A. – pp. 1905-1919. <https://doi.org/10.2298/TSCI190305158R>
13. Рябов Г. А. Опыт сжигания различных видов биомассы в России и Белоруссии / Г. А. Рябов, Д. С. Литун, Е. А. Пицуха, Ю. С. Теплицкий, В. А. Бородуля // *Электрические станции*. – 2015. – №9(1010). – С. 9-17.

References

1. Basu P. *Biomass gasification and pyrolysis. Practical design and theory*. Academic Press, 2010.
2. Serant F. A., Shestakov S. M., Pomerancev V. V. i dr. "Szhiganie nemolodykh azeiskikh burykh uglei v nizkotemperaturnoi vikhrevoi topke po scheme LPI-ITEC-10". *Teploenergetika*, 1983. №7.
3. Rundygin, Yu. A., et al. "Modernization of boilers based on low-temperature vortex technology for burning solid fuels", *Energy: economics, technology, ecology*. 2000. №4. pp. 19-22.
4. Shestakov S. M., Aronov A. L. *Technology of Combustion of Local Solid Fuel Types*, ESCO, 2014.
5. Baskakov, A.P., Matsnev V. V., Raspopov I. V. *Boilers and furnaces with a fluidized bed*, Energoatomizdat, 1996.
6. Pitsukha, E. A., Teplitskii Yu. S., Borodulia V. A. "Osobennosti szhiganiya tverdogo biotopliva v tsiklonno-sloevoy topchnoy kamere". Tez. dokl. XIV Minskiy mezhdunarodnyiy forum po teplo- i massoobmenu. Minsk, 10–13 sent. 2012 g. 2012. T. 2. ch. 1. P. 324-327.
7. Karp I.N., Provalov A.Yu., Pinykh K.E. Yudin, A.S. "Issledovanie dinamiki vygoraniia drevesnykh opilok i luzgi podsolnechnika v kipiyashchem sloe". *Energotehnologii i resursosberezhenie*. 2010. No. 3. P. 9-13.
8. Karp I.N. Kolesnik V. V., Orlik V. N., Pinykh K. E., A. S. Yudin A. S. "Matematicheskoe modelirovanie protsessa sgoraniia drevesnoi chastitsy". *Energotehnologii i resursosberezhenie*. 2010. No. 5. P. 13-20.
9. Borodulia A. V., Palchenok G. I "Perspektivy primeneniia i metody rascheta szhiganiia naturalnogo i densifitsirovannogo biotopliva v kipiyashchem sloe". *Vesti NAN Belarusi. Seriya fiziko-tehnicheskikh nauk*. 2003. No 3. P. 116-123.
10. Riabov G.A. *Nauchnoe obosnovanie ispolzovaniya tehnologii szhiganiya tverdyykh topliv v tsirkuliruyuschem kipiyaschem sloe*. Dis. OAO «VTI». 2016.
11. Viriasov D.M. *Pseudozhizhenie i szhiganie biotopliva v mnogokomponentnykh sloiakh*. Dis. Fgbou Tambovskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet, 2013.
12. Redko A., Burda Y., Dzhyoiev R., Redko I., Norchak V., Pavlovskii S., Redko O. "Numerical modeling of peat burning processes in a vortex furnace with countercurrent swirl flows". *Thermal Science*. 2021. Vol. 25. Iss. 3. Part A. P. 1905-1919. <https://doi.org/10.2298/TSCI190305158R>
13. Riabov G.A., Litun D. S., Pitsukha E. A., Teplitskii Yu. S., Borodulya V. A. "Opyt szhiganiia razlichnykh vidov biomassy v Rossii i Belorussii". *Elektricheskie stantsii*. 2015. No 9, P. 9-17.

УДК 62-664.2

Схема сжигания древесных отходов в топке с циркулирующим кипящим слоем

Р. Л. Джиоев¹

¹ асп. Харьковський національний університет будівництва та архітектури, г. Харків, Україна, office@khgorgas.com.ua, ORCID 0000-0003-4046-7038

Аннотация. Циклонно-вихревая технология сжигания твёрдого топлива позволяет уменьшить топочный объём котельного агрегата, габариты и массу. Перемешивание частиц топлива и воздуха в закрученном потоке обеспечивает интенсивный теплообмен и сжигание топлива в ограниченном топочном объёме. Приведены результаты совершенствования тепловой схемы сжигания пылевидного топлива (древесных отходов) в циркулирующем кипящем слое. Результаты численных расчётов показали возможность сжигания древесных опилок с диаметром частиц от 25 мкм до 750 мкм. При подаче топливовоздушной смеси снизу топки, а вторичного воздуха сверху топки удаление золы происходит через щель в нижней части топки в жидком виде. Установлено, что при влажности опилок 10 %, зольности $A_s = 0,6\%$, высшей теплоте сгорания 17,7 МДж/кг унос частиц составляет 19,2 %, степень выгорания частиц равна 92,5 %. Это требует дожигания уноса в циркулирующем кипящем слое.

Ключевые слова: циклонно-вихревое сжигание топлива, вихревая топка, кратность циркуляции топлива.

UDC 2-664.2

Scheme of incineration of wood waste in a furnace with a circulating boiling bed

R. Dzhyoiev¹

¹Post-graduate student, Kharkov National University of Civil Engineering and Architecture, Kharkov, Ukraine, office@khgorgas.com.ua, ORCID: 0000-0003-4046-7038

Abstract. Cyclonic-vortex technology of solid fuel combustion allows to reduce the furnace volume of the boiler unit, dimensions and weight. Mixing of fuel particles and air in a swirling stream provides intensive heat exchange and fuel combustion in a limited furnace volume. The results of improving the thermal scheme of combustion of pulverized fuel (wood waste) in a circulating fluidized bed are presented. The results of numerical calculations showed the possibility of burning sawdust with a particle diameter of 25 μm to 750 μm . When the air-fuel mixture is supplied from the bottom of the furnace, and the secondary air from the top of the furnace, ash is removed in liquid form through a slot in the lower part of the furnace. It was found that with a sawdust moisture content of 10%, ash content $A_c = 0.6\%$, a higher combustion heat of 17.7 MJ / kg, particle entrainment is 19.2 %, the degree of particle burnout is 92.5%, which requires afterburning of entrainment in a circulating boiling layer. One of the ways to improve Ukraine's fuel and energy balance is to use alternative sources of heat to natural gas, namely solid fuels or wood industry waste. It is necessary to involve specialized technologies for burning solid fuels. Currently, there is an incomplete theoretical and practical knowledge about the processes of burning wood waste. The use of natural gas as a source of thermal energy occupies a significant part of Ukraine's fuel and energy balance. To increase the share of solid fuels, it is necessary to study in more detail the processes of their combustion and the use of methods of intensification of heat transfer processes in the furnaces of solid fuel boilers. The results of numerical calculations showed that the use of vortex furnace instead of direct flow in the scheme CKS increases the residence time of particles in the furnace, which reduces the multiplicity of fuel circulation, reduce the size and weight of the furnace.

Key words: cyclone-vortex combustion of firing, vortex furnaces, frequency of fuel circulation.

Надійшла до редакції / Received 16.06.2021