

УДК 62-664.2

Дослідження паливно-повітряного потоку всередині вихрової топки з киплячим шаром із застосуванням спеціальної повітряно-розподільної насадки.

С.О. Алфьоров¹

¹ асп. Харківський національний університет будівництва та архітектури, м. Харків, Україна, Sergey.alf312@gmail.com, ORCID 0000-0003-3451-1004

У статті наведено результати експериментального дослідження паливно-повітряного потоку всередині вихрової топки з киплячим шаром із застосуванням спеціальної повітряно-розподільної насадки. Застосовується насадка з нахилом пластин у 15°, що не перевищує 10% від загальної площі живого перетину камери експериментальної установки. В ході експерименту визначені граничні умови утворення вихрового потоку при різній кількості палива та різних витратах повітря, показані значення втрат тиску і швидкості потоку. Так для 2,9 кг тирси гранична швидкість утворення вихрового потоку становить 0,72 м/с, для 5,8 кг дане значення складає 0,57 м/с. Отримані результати дають змогу сформулювати рекомендації щодо удосконалення існуючих твердопаливних топок за рахунок застосування спеціальних насадок для інтенсифікації процесів горіння.

Ключові слова: спалювання палива, вихрові топки, аеродинаміка топки, спеціальна насадка.

Вступ. Пошук альтернативних викопним джерелам теплової енергії ресурсів є постійною складовою розвитку енергетичної сфери будь-якої держави. Зараз це питання є найбільш актуальним через різноманітні політичні процеси та незмінне зменшення загальної кількості невідновлювальних природних ресурсів. Одним із способів реалізації питання заміщення природного газу, вугілля та інших видів викопного палива є спалювання відходів сільського господарства та деревообробної промисловості. Але це пов'язано зі значною кількістю технічних труднощів та недостатньою теоретичною базою для реалізації.

Актуальність дослідження. У наш час питання залежності від викопних енергоресурсів є найважливішою проблемою для країн Європи. Одним із перспективних рішень даної проблеми є використання вихрових твердопаливних топок для спалювання низькокалорійних видів палива, таких як відходи деревообробної та сільськогосподарської промисловості.

Наша країна має розвинені сільськогосподарський та деревообробний сектори економіки, тому кількість відходів даних виробництв є значними, що дозволяє використовувати їх для покриття енергетичних потреб держави. При цьому на території України знаходиться значна кількість твердопаливних котлів, що можуть бути використані для цього завдання.

Головними труднощами у спалюванні низькосортних палив у твердопаливних котлах є невисокий рівень корисної дії даних вихрових топок та недостатньо освітлені теоретичні відомості щодо цього.

Останні дослідження та публікації. Вихрова технологія є ефективною сучасною технологією енергетичного використання твердого палива та видалення пилу. До основних переваг низькосортної вихрової технології спалювання відносяться покращені екологічні показання, стійкість запалення та горіння твердого палива без підсвічування газом або мазутом, використання безмлинових схем підготовки палива. Низькотемпературна вихрова технологія спалювання палива може бути реалізована у традиційній камерній топці шляхом її модернізації. При цьому забезпечується спалювання таких твердих палив як: кам'яне та буре вугілля, горючі сланці, торф, відходи обробки деревини та інші види біопалива.

Киплячий шар у полі сили тяжіння широко застосовується у різних технологічних установках. Однак інтенсивність процесів при такому способі псевдозрідження лімітується гравітаційними силами, є проблеми з об'ємною однорідністю тепло- та масообміну в шарі. Застосування відцентрового псевдозрідженого шару у тепломасообмінних апаратах дозволяє збільшити інтенсивність процесів за рахунок більшої швидкості обтікання частинок, придушення утворення пухирів у шарі.

Для організації шару частинок у полі відцентрових сил можуть бути використані різні типи вихрових камер, наприклад, камера, що обертається [1-4], камера з нерухомою циліндричною стінкою і повітророзподільчим торцем, що обертається [5-8], різні варіанти вихрових камер з нерухомими стінками, у яких шар часток формується за рахунок закрукти пото-

ку [9].

Характеристики шару частинок у полі відцентрових сил залежать як від конфігурації вихрової камери, так і від властивостей самого зернистого матеріалу, і насамперед від щільності та розмірів частинок [10–14].

Формулювання цілей статті. Метою даної роботи є дослідження аеродинамічних характеристик процесу спалювання деревної тирси у вихровій топці із застосуванням спеціальної повітряно-розподільної насадки.

Основна частина. Експериментальна установка для визначення аеродинамічних характеристик повітряно-паливної суміші (рис. 1) складається з камери, виконаної із труби з органічного скла (1) висотою 1,2 м та діаметром 0,2 м. На висоті 0,05 м всередині труби встановлено повітряно-розподільну насадку 2 (рис. 2).

Насадка виконана із оцинкованої сталі товщиною 0,001 м. Вона складається із центрального конусу висотою 0,1 м, та тридцяти шести лопаток, напрямлених під кутом 15° до горизонтальної площини. Така конструкція повітряно розподільної насадки має площу живого перетину 0,016 м², що не перевищує 10% від загальної площі живого перетину камери експериментальної установки.

Для підведення повітря до камери встановлюється патрубок 3 у нижній частині камери. Для недопущення виносу досліджуваного матеріалу з камери дослідної установки зверху встановлюється захисна сітка 4. Для визначення перепаду тиску всередині камери передбачаються патрубки 5.

Для подачі повітря до установки застосовується вентилятор ВВД 5 з електродвигуном потужністю 3 кВт.

В якості досліджуваного матеріалу використовується тирса з розміром частинок не більшу 0,003 м², вологістю 12% та насипною густиною 185 кг/м³.

У ході експерименту визначається швидкість повітряно-паливної суміші та перепад тиску за умови різної кількості повітря, що подається всередину установки.

Для визначення аеродинамічних характеристик суміші повітря і тирси в експериментальній установці із повітророзподільною насадкою в установку на повітророзподільну решітку засипається тирса. При цьому поступово збільшується витрата повітря.

Результати та їх відображення. Для експериментів №1 - №5 в установку засипано 2,9кг тирси, для експериментів №6 -№10 використано 5,8 кг тирси.

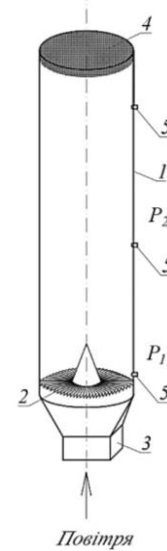


Рис. 1 Принципова схема експериментальної установки

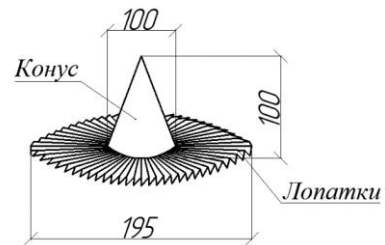


Рис. 2 Принципова схема повітророзподільної насадки

Отримані в ході експерименту результати зведено до таблиці 1 та надані на рис. 3.

На рис. 3 наведено графік залежності витрат тиску від швидкості повітряно-паливної суміші. Номер вимірювання (1-10) відповідають порядковому номеру експерименту згідно таблиці 3.

Таблиця 1.

| Результати вимірювань | | | |
|------------------------|--------------------------------------|--|---|
| № | Витрата повітря G, м ³ /с | Середня швидкість повітряно-паливної суміші V, м/с | Перепад тиску ΔP = P ₁ – P ₂ , Па |
| Вага шару тирси 2,9 кг | | | |
| 1 | 0,008 | 0,67 | 10 |
| 2 | 0,016 | 0,69 | 18 |
| 3 | 0,021 | 0,71 | 25 |
| 4 | 0,033 | 0,72 | 33 |
| 5 | 0,042 | 0,73 | 40 |
| Вага шару тирси 5,8 кг | | | |
| 6 | 0,008 | 0,51 | 50 |
| 7 | 0,016 | 0,53 | 64 |
| 8 | 0,021 | 0,55 | 78 |
| 9 | 0,033 | 0,57 | 94 |
| 10 | 0,042 | 0,59 | 110 |

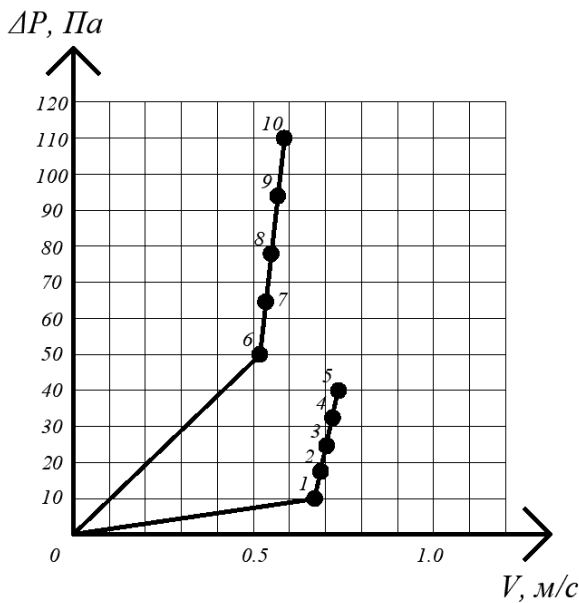


Рис. 3. Графік залежності втрати тиску повітряної суміші від швидкості руху.

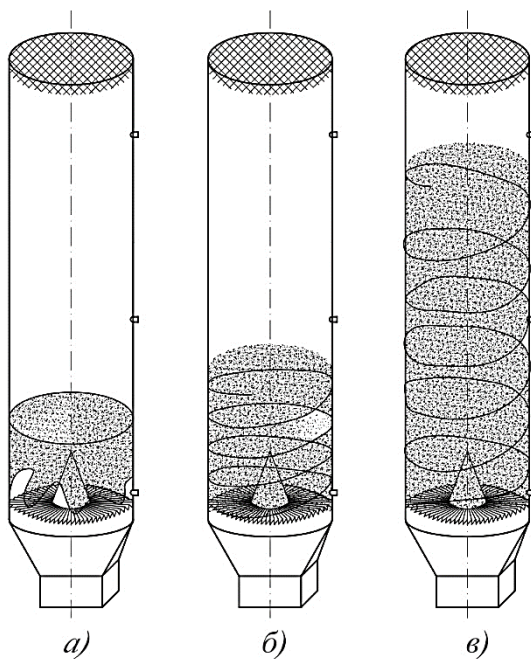


Рис. 4 Характер розповсюдження паливно-повітряної суміші за різної витрати повітря при масі тирси 2,9 кг: а – експеримент №1; б – експеримент №3; в – експеримент №5.

При витраті повітря до 0,01 м³/с та швидкості до 0,7 м/с спостерігається незначне неоднорідне підняття шару тирси над повітродіподільною насадкою (Рис. 4а). Утворення вихрового потоку не відбувається.

За витрати повітря 0,02 – 0,03 м³/с та швидкості 0,7 – 0,72 м/с спостерігається підняття шару тирси над насадкою із незначним завихренням потоку у напрямку напрямлення повітродіподільних пластин насадки (Рис. 4б).

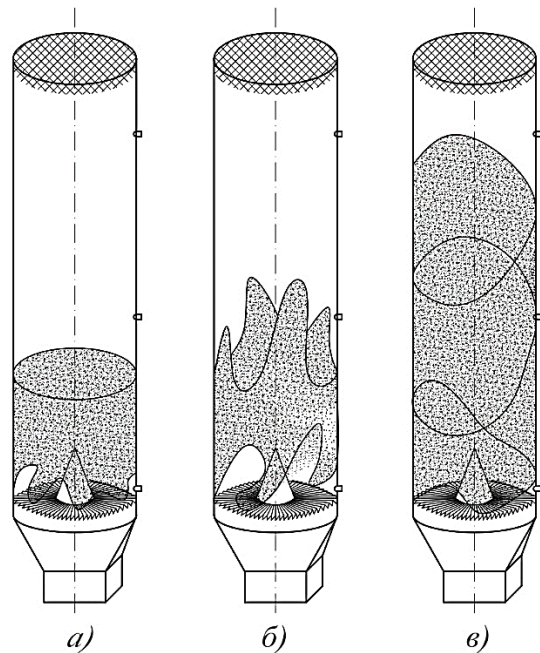


Рис. 5 Характер розповсюдження паливно-повітряної суміші за різної витрати повітря при масі тирси 5,8 кг: а – експеримент №6; б – експеримент №8; в – експеримент №10.

За витрати повітря 0,03 – 0,045 м³/с та швидкості більше 0,72 м/с спостерігається вихровий потік суміші повітря і тирси по всій висоті камери експериментальної установки.

За більшої у два рази, порівняно із експериментами №1-№5, маси тирси спостерігається збільшення значень перепадів тиску всередині камери експериментальної установки майже в 2 рази. При цьому швидкість руху суміші повітря і палива навіть за витрати повітря 0,045 м³/с (Рис. 5в) не перевищує 0,6 м/с.

Шар тирси вагою близько 5,8 кг (рис.5) за швидкості повітря до 0,55 м/с підіймається окремими зонами, утворюючи «киплячу» зону знизу. При цьому верхня частина шару є нерухомою.

За швидкості повітря в діапазоні значень від 0,55 м/с до 0,57 м/с шар починає підійматися хаотично, утворюючи киплячу зону висотою близько 400 мм.

За швидкості повітря більше 0,57 м/с шар тирси вагою близько 5,8 кг стабілізується і починає рухатися за вихровим напрямком, але на відміну від меншої вдвічі кількості тирси, рух більшого шару є менш інтенсивним.

Висновки: У ході проведених експериментів визначені оптимальні параметри паливно-повітряної суміші для тирси. При цьому для інтенсифікації повітряного потоку застосовувалася повітряно-розподільна насадка. Визначені критичні значення швидкостей, при яких

починає формуватися вихровий киплячий шар.

Перспективи подальших досліджень.

В подальшому планується розглянути інші види твердого палива та вплив різних кутів нахилу лопаток на повітряно-розподільній насадці на аеродинамічні характеристики все-

редині вихрової топки. Все це дозволить сформулювати рекомендації щодо вдосконалення існуючих твердопаливних вихрових топко-

Література.

1. Карп И. Н. и др. Математическое моделирование процесса сгорания древесной частицы. *Энерготехнологии и ресурсосбережение*. 2010. № 5. С. 13-20.
2. Бородуля А. В., Пальченко Г. И. Перспективы применения и методы расчета сжигания натурального и денсифицированного биотоплива в кипящем слое. *Вести НАН Беларуси. Серия физико-технических наук*. 2003. № 3. С. 116-123.
3. Рябов Г. А. *Научное обоснование использования технологии сжигания твердых топлив в циркулирующем кипящем слое*. Дис. ... докт. техн. наук, Москва: ОАО «ВТИ». 2016.
4. Вирясов Д. М. *Псевдоожидение и сжигание биотоплива в многокомпонентных слоях*. Дис. ... канд. техн. наук, Москва: ФГБОУ «Тамбовский государственный технический университет», 2013.
5. Redko, Y. Burda, R. Dzhyoiev, I. Redko, V. Norchak, S. Pavlovskiiy, O. Redko Numerical modeling of peat burning processes in a vortex furnace with countercurrent swirl flows. *Thermal Science*, 2020, vol. 19, online first, pp. 158-177.
6. Рябов Г. А. и др. Опыт сжигания различных видов биомассы в России и Белоруссии // *Электрические станции*, №9(1010), 2015, с. 9-7.
7. Rundygin, Yu. A., et al., Modernization of boilers based on low-temperature vortex technology for burning solid fuels, *Energy: economics, technology, ecology*, 4 (2000), pp. 19-22.
8. Shestakov, S. M., Aronov A. L., *Technology of Combustion of Local Solid Fuel Types*, ESCO, 2014.
9. Кроу Д. Численные модели течений газа с наибольшим содержанием частиц. Теоретические основы инженерных расчетов. т. 104, №3, 1982, с. 114-122.
10. Launder B. E., Spalding. D. B. *Lectures in Mathematical Models of Turbulence*. London : Academic Press, 1972. 169 p.
11. Jones. *Calculation Methods for Reacting Turbulent Flows: A Review*. Combust. Flame. Whitelaw, 1982.
12. Лойцянский Л.Г. *Механика жидкости и газа*. М: Наука, 1978.
13. Badzioch S., Hawksley P. G. W. *Kinetics of Thermal Decomposition of Pulverized Coal Particles*. Ind. Eng. Chem. Process Design and Development, 1970.
14. Hong, G., Paul, G., Arias, A., et al. Direct numerical simulations of statistically stationary turbulent premixed flames. *Combustion Science and Technology*. 188(2016), 8, pp.1182-1198.

References

1. Karp IN et al. Mathematical modeling of the combustion process of wood particles. *Energy technology and resource conservation*. 2010. No. 5. S. 13-20.
2. Borodulya A. V., Palchenok GI Prospects for the application and methods of calculating the combustion of natural and den-sified biofuel in a fluidized bed. *News from the National Academy of Sciences of Belarus. A series of physical and technical sciences*. 2003. No. 3. S. 116-123.
3. Ryabov GA Scientific substantiation of the use of technology for burning solid fuels in a circulating fluidized bed. Dis. ... doct. tech. Sciences, Moscow: JSC "VTI". 2016.
4. Viryasov DM Pseudo-liquefaction and combustion of biofuel in multicomponent layers. Dis. ... Cand. tech. Sci., Moscow: FGBOU "Tambov State Technical University", 2013.
5. Redko, Y. Burda, R. Dzhyoiev, I. Redko, V. Norchak, S. Pavlovskiiy, O. Redko Numerical modeling of peat burning processes in a vortex furnace with countercurrent swirl flows. *Thermal Science*, 2020, vol. 19, online first, pp. 158-177.
6. Ryabov GA et al. Experience of burning various types of biomass in Russia and Belarus // *Electric stations*, No. 9 (1010), 2015, p. 9-7.
7. Rundygin, Yu. A., et al., Modernization of boilers based on low-temperature vortex technology for burning solid fuels, *Energy: economics, technology, ecology*, 4 (2000), pp. 19-22.
8. Shestakov, S. M., Aronov A. L., *Technology of Combustion of Local Solid Fuel Types*, ESCO, 2014.
9. Crow D. Numerical models of gas flows with a high content of particles. *Theoretical foundations of engineering calculations*. t. 104, no. 3, 1982, p. 114-122.
10. Launder B. E., Spalding. D. B. *Lectures in Mathematical Models of Turbulence*. London : Academic Press,

1972. 169 p.

11. Jones. Calculation Methods for Reacting Turbulent Flows: A Review. Combust. Flame. Whitelaw, 1982.

12. Loytsyansky L.G. Mechanics of liquid and gas. M: Science, 1978.

13. Badzioch S., Hawksley P. G. W. Kinetics of Thermal Decomposition of Pulverized Coal Particles. Ind. Eng. Chem. Process Design and Development, 1970.

14. Hong, G., Paul, G., Arias, A., et al. Direct numerical simulations of statistically stationary turbulent premixed flames. Combustion Science and Technology. 188(2016), 8, pp.1182-1198.

UDK 62-664.2

Investigation of the fuel-air flow inside a vortex furnace with a fluidized bed using a special air-distributing nozzle.

S. Alforov¹

¹Post-graduate student, Kharkov National University of Civil Engineering and Architecture, Kharkov, Ukraine, sergey.alf312@gmail.com, ORCID: 0000-0003-3451-1004

***Annotation.** The search for resources alternative to fossil sources of thermal energy is a constant component of the development of the energy sector of any country. This issue is now most urgent due to various political processes and the constant decrease of the total amount of non-renewable natural resources. One of the ways to implement the issue of replacing natural gas, coal and other types of fossil fuels is the burning of waste from agriculture and the woodworking industry. But this is associated with a significant number of technical difficulties and an insufficient theoretical basis for implementation. The article presents the results of an experimental study of the fuel-air flow inside a fluidized-bed vortex furnace using a special air-distributing nozzle. A nozzle with a 15° slope of the plates is used, which does not exceed 10% of the total area of the free section of the chamber of the experimental setup. In the course of the experiment, the limiting conditions for the formation of a vortex flow at different amounts of fuel and different air flow rates are indicated, and the values of pressure losses and flow rates are shown. So for 2.9 kg of sawdust, the maximum speed of formation of a vortex flow is 0.72 m/s, for 5.8 kg this value is 0.57 m/s. The results obtained make it possible to formulate recommendations for the improvement of existing solid fuel furnaces through the use of special nozzles to intensify combustion processes. In the future, it is planned to consider other types of solid fuel and the influence of different angles of inclination of the blades on the air distribution nozzle on the aerodynamic characteristics inside the vortex furnace. All this will make it possible to formulate recommendations for the improvement of existing solid fuel vortex furnaces.*

Key words: fuel combustion, vortex furnaces, furnace aerodynamics, special nozzle.