

УДК 62-664.2

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПАЛИВНО-ПОВІТРЯНОГО ПОТОКУ ВСЕРЕДИНІ ВИХРОВОЇ
ТОПКИ З КИПЛЯЧИМ ШАРОМ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ СПЕЦІАЛЬНОЇ
ПОВІТРОРОЗПОДІЛЬНОЇ НАСАДКИ**

Асп. С. О. Алфьоров

**INVESTIGATION OF THE FUEL-AIR FLOW INSIDE A VORTEX FURNACE WITH A
FLUIDIZED BED USING A SPECIAL AIR-DISTRIBUTING NOZZLE**

Postgraduate student S. O. Alforov

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.202.2022.273568>



Анотація. У статті наведено результати експериментального дослідження паливно-повітряного потоку всередині вихрової топки з киплячим шаром із залученням спеціальної повітродозподільної насадки. Для проведення експерименту застосовується спеціальна установка у формі циліндра з насадкою всередині. Насадка має нахил пластин у 15°, що не перевищує 10% загальної площі живого перерізу камери експериментальної установки. Під час експерименту визначено граничні умови утворення вихрового потоку при різній кількості палива та різних витратах повітря, показано значення втрат тиску і швидкості потоку. Результати надано у графічній формі та формі табличних значень. Так, для 2,9 кг тирси гранична швидкість утворення вихрового потоку становить 0,72 м/с, для 5,8 кг це 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.

Abstract. The article presents the results of an experimental study of the fuel-air flow inside a vortex furnace with a fluidized bed using a special air distribution nozzle. Nowadays, the issue of dependence on fossil energy resources is the most important problem for the countries of Europe. One of the promising solutions to this problem is the use of vortex solid fuel furnaces for burning low-calorie types of fuel, such as waste from the woodworking and agricultural industries. Our country has developed agricultural and woodworking sectors of the economy, so the amount of waste from these industries is significant, which allows them to be used to cover the energy needs of the state. At the same time, there is a significant number of solid fuel boilers on the territory of Ukraine that can be used for this task. The main difficulties in burning low-grade fuels in solid-fuel boilers are the low level of efficiency of these vortex furnaces and insufficient theoretical information about this. To conduct the experiment, a special installation in the form of a cylinder

with a nozzle inside is used. The nozzle has a plate inclination of 15° , which does not exceed 10% of the total live cross-sectional area of the chamber of the experimental setup. In the course of the experiment, the boundary conditions for the formation of a vortex flow at different amounts of fuel and different air flows were determined, and the values of pressure loss and flow velocity were shown. The results are presented in graphical and tabular form. For example, for 2.9 kg of sawdust, the maximum speed of vortex flow formation is 0.72 m/s, for 5.8 kg this value is 0.57 m/s. The obtained results make it possible to formulate recommendations for the improvement of existing solid fuel furnaces due to the use of special nozzles for the intensification of combustion processes. This creates prospects for the development of the country's energy sector.

Keywords: fuel combustion, vortex furnaces, furnace aerodynamics, special nozzle.

Вступ. Пошук альтернативних викопним джерелам теплової енергії ресурсів є постійною складовою розвитку енергетичної сфери будь-якої держави. Зараз це питання є найбільш актуальним через різні 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 сільськогосподарства та деревообробної промисловості. Але це пов'язано зі значною кількістю технічних труднощів і недостатньою теоретичною базою для реалізації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вихрова технологія є ефективною сучасною технологією енергетичного використання твердого палива та видалення пилю. До основних переваг низькосортної вихрової технології спалювання належать 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 в різних

технологічних установках. Однак інтенсивність процесів при такому способі псевдозрідження лімітується гравітаційними силами, також спостерігаються проблеми з об'ємною однорідністю тепло- та масообміну в шарі. Застосування відцентрового псевдозрідженого шару в тепломасообмінних апаратах дозволяє збільшити інтенсивність процесів за рахунок більш високого значення швидкості обтікання частинок, недопущення 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 повітродозподільним торцем, що обертається [5-7], різні варіанти вихрових камер з нерухомими стінками, у яких шар частинок формується за рахунок закручування потоку [8].

Характеристики шару частинок у полі відцентрових сил залежать як від конфігурації вихрової камери, так і властивостей самого зернистого матеріалу, насамперед щільності та розмірів частинок [9-12].

Визначення мети та завдання дослідження. Метою роботи є дослідження аеродинамічних характеристик процесу спалювання деревної тирси у вихровій топці з застосуванням спеціальної повітродозподільної насадки.

Основна частина дослідження. Експеримент проводиться на спеціальній установці (рис. 1), що являє собою камеру з органічного скла (1) висотою 1,2 м і

діаметром 200 мм. На відстані 50 мм від низу камери встановлено повітро-розподільну насадку 2 (рис. 2).

Насадка виконана з оцинкованої сталі товщиною шару 0,001 м. Вона складається з центрального конуса висотою 0,1 м і лопаток, встановлених під кутом 15° . Така конструкція повітророзподільної насадки має площу живого перерізу $0,016 \text{ м}^2$, що не перевищує 10 % загальної площі живого

перерізу 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.

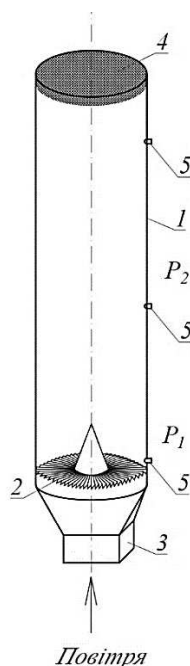


Рис. 1. Принципова схема експериментальної установки

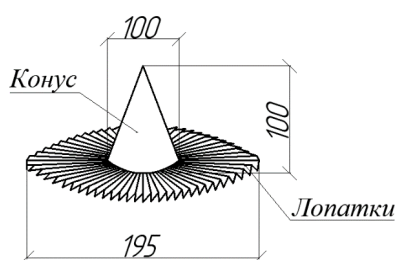


Рис. 2. Габаритна схема повітророзподільної насадки

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

Як досліджуваний матеріал використовується тирса з розміром

частинок не більше $0,003 \text{ м}^2$, вологістю 12 % та насипною щільністю 185 кг/м^3 .

Під час 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 з повітророзподільною насадкою в установку на повітророзподільну решітку засипається тирса. При цьому поступово збільшуються витрати повітря.

Для експериментів № 1-5 в установку засипано 2,9 кг тирси, експериментів № 6-10 – 5,8 кг тирси.

Отримані при експерименті результати зведено до таблиці і подано на рис. 3.

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

Таблиця

Результати вимірювань

Номер	Витрати повітря $G, \text{ м}^3/\text{с}$	Середня швидкість повітряно-паливної суміші $V, \text{ м/с}$	Перепад тиску $\Delta P = P_1 - P_2, \text{ Па}$
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

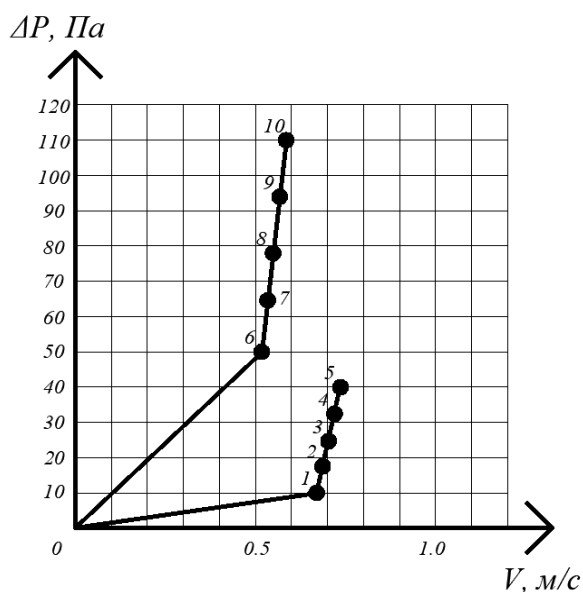


Рис. 3. Графік залежності витрат тиску повітряної суміші від швидкості руху

За умови витрат повітря в межах до $0,01 \text{ м}^3/\text{с}$ і швидкості потоку до $0,7 \text{ м}/\text{с}$ утворюється порівняно невелике підняття маси тирси над насадкою всередині камери (рис. 4, а). Вихровий потік не утворюється.

При значеннях витрат повітряної суміші близько $0,02 - 0,03 \text{ м}^3/\text{с}$ і швидкості $0,7 - 0,72 \text{ м}/\text{с}$ відбувається підняття тирси з невеликим завихренням повітряного потоку (рис. 4, б).

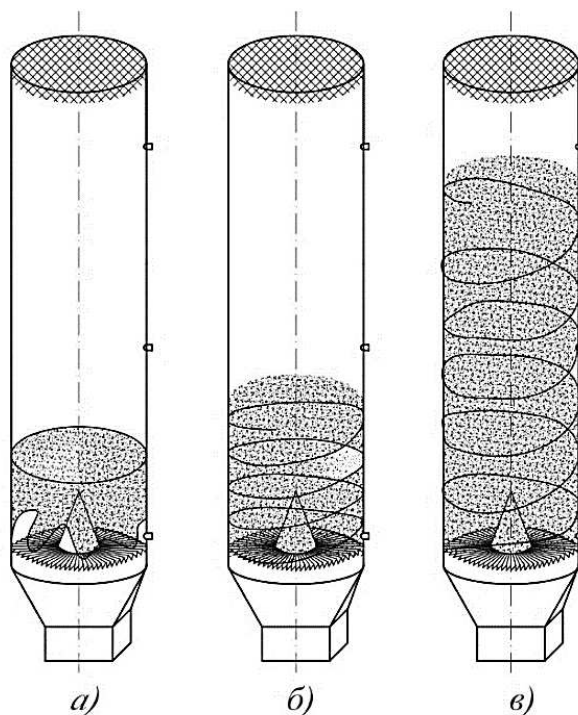


Рис. 4. Характер розповсюдження паливно-повітряної суміші за різних витрат повітря при масі тирси $2,9 \text{ кг}$: а – експеримент № 1; б – експеримент № 3; в – експеримент № 5

За рахунок витрат повітряної суміші $0,03-0,045 \text{ м}^3/\text{с}$ і швидкості більше за $0,72 \text{ м}/\text{с}$ утворюється вертикальний потік у вигляді вихору, що піднімається на всю висоту камери установки.

За більшої у два рази порівняно з експериментами № 1-5 маси тирси спостерігається збільшення значень перепадів тиску всередині камери експериментальної установки майже у два рази. При цьому швидкість руху суміші повітря і палива навіть за витрат повітря $0,045 \text{ м}^3/\text{с}$ (рис. 5, в) не перевищує $0,6 \text{ м}/\text{с}$.

Шар тирси вагою близько $5,8 \text{ кг}$ (рис. 5) при швидкості повітря до $0,55 \text{ м}/\text{с}$

підіймається окремими зонами, утворюючи «киплячу» зону знизу. При цьому верхня частина шару є нерухомою.

При швидкості повітря в діапазоні значень від $0,55$ до $0,57 \text{ м}/\text{с}$ шар починає підійматися хаотично, утворюючи киплячу зону висотою близько 400 мм .

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

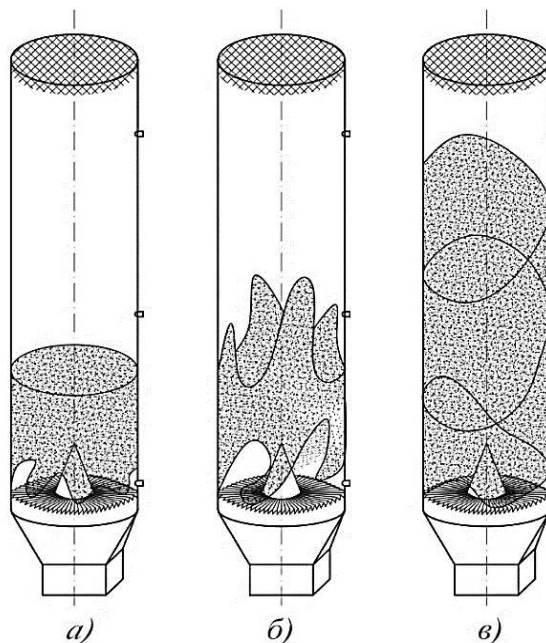


Рис. 5. Характер розповсюдження паливно-повітряної суміші за різних витрат повітря при масі тирси 5,8 кг:
а – експеримент № 6; б – експеримент № 8; в – експеримент № 10

Висновки. При проведенні експериментів визначено оптимальні параметри паливно-повітряної суміші для тирси. При цьому для інтенсифікації повітряного потоку застосовувалася повітророзподільна насадка. Визначено критичні значення швидкостей, при яких починає формуватися вихровий киплячий

шар. У подальшому планується розглянути інші види твердого палива та вплив різних кутів нахилу лопаток на повітророзподільній насадці на аеродинамічні характеристики всередині вихрової топки. Все це дозволить сформулювати рекомендації щодо вдосконалення існуючих твердопаливних вихрових топок.

Список використаних джерел

1. Карп И. Н. и др. Математическое моделирование процесса сгорания древесной частицы. *Энерготехнологии и ресурсосбережение*. 2010. № 5 (118). 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. (247) С. 116–123.
3. Рябов Г. А. Научное обоснование использования технологии сжигания твердых топлив в циркулирующем кипящем слое: дисс. ... д-ра техн. наук. Москва: ОАО «ВТИ», 2016.
4. Вирясов Д. М. Псевдоожигание и сжигание биотоплива в многокомпонентных слоях: дисс. ... канд. техн. наук. Москва: Фгбоу «Тамбовский государственный технический университет», 2013.
5. Redko Y., Burda R., Dzhyoiev I., Redko V., Norchak S., Pavlovskiiy O. Numerical modeling of peat burning processes in a vortex furnace with countercurrent swirl flows. *Thermal*

Science. 2020. P. 158–177. URL: <https://doi.org/10.2298/TSCI190305158R> (Last accessed: 20.10.2022).

6. Рябов Г. А. и др. Опыт сжигания различных видов биомассы в России и Белоруссии. *Электрические станции*. 2015. № 9 (1010). С. 9–7.

7. Кроу Д. Численные модели течений газа с наибольшим содержанием частиц. Т. 3. Теоретические основы инженерных расчетов. *Теоретические основы инженерных расчетов*. 1982. 104, № 3. С. 114-122.

8. Launder B. E., Spalding. D. B. Lectures in Mathematical Models of Turbulence. London : Academic Press, 1972. 169 p.

9. Jones. Calculation Methods for Reacting Turbulent Flows: A Review. *Combust. Flame*. Whitelaw, 1982. 187 p.

10. Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа. Москва : Наука, 1978. 372 с.

11. Badzioch S., Hawksley P. G. W. Kinetics of Thermal Decomposition of Pulverized Coal Particles. *Ind. Eng. Chem. Process Design and Development*, 1970. 521 p.

12. Hong G., Paul G., Arias A. et al. Direct numerical simulations of statistically stationary turbulent premixed flames. *Combustion Science and Technology*. 2016. Vol. 188, is. 8. P. 1182–1198. URL: <https://doi.org/10.1080/00102202.2016.1198789> (Last accessed: 17.10.2022).

Алфьоров Сергій Олександрович, аспірант кафедри теплогазопостачання, вентиляції і використання теплових вторинних енергоресурсів, Харківський Національний університет будівництва та архітектури. ORCID iD: 0000-0003-3451-1004. E-mail: Sergey.alf312@gmail.com.

Alforov Serhii, postgraduate student, department of Heat and Gas Supply, Ventilation and Use of Thermal Secondary Energy Resources, Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture. ORCID iD: 0000-0003-3451-1004. E-mail: Sergey.alf312@gmail.com.

Статтю прийнято 28.10.2022 р.