

Аналіз конструкцій та методика розрахунку мазутних пальників для опалювальних систем

Ігор Токарський , Володимир Габрінець 

Purpose. This article aims to show the principle and methodology of developing simple fuel oil burners for autonomous heating boilers that will provide room and water heating, making buildings independent of centralized heat supply. **Design / Method / Approach.** The research is based on the analysis of existing data on modern heating systems and their calculation methods for the synthesis of simple and compact solutions for the development of new burners. **Findings.** The result of the work is the disclosure of the operating principles of fuel oil burners, a comparison of their advantages and disadvantages. Based on these data, the simplest and most appropriate type of construction was chosen. The method of its calculation was revealed, which allows you to find its key dimensions and characteristics of the flame torch, which can be used for further calculation of the firebox based on this burner. **Theoretical Implications.** The study deepens the understanding of the principles of operation of liquid fuel burners and offers a new approach to their calculation, which can be the basis for further scientific developments in this field. **Practical Implications.** The disclosed method for calculating the burner makes it possible to obtain its dimensions and the characteristics of the flame torch in the furnace when the input parameters are changed. This makes it possible to quickly select the optimal option for various input data of the heating system without limiting yourself to the case presented in the article. **Originality / Value.** The novelty of the work is the creation of a relatively simple methodology for calculating fuel oil burners, which allows you to quickly develop optimal solutions for various heating systems. Specific numerical values allow you to compare the obtained system with analogues to identify its advantages and disadvantages. **Research Limitations / Future Research.** This study is somewhat limited in detail regarding some specific feed and combustion systems. This is due to their narrow role in heating systems, which are characteristic only for industrial enterprises and sea transport. The data obtained from this work will be the basis for calculating the heating boiler. **Paper Type.** Theoretical, Methodological.

Keywords:

fuel oil burner calculation, burner optimization, heating system design, flame characteristics

Contributor Details:

Ihor Tokarskyi, Postgraduate., Oles Honchar Dnipro National University: Dnipro, UA, tokarskiy097@gmail.com

Volodymyr Habrinets, Prof., Dr.Sc., Oles Honchar Dnipro National University: Dnipro, UA, gabrin62@gmail.com



На сьогоднішній день, через високий ризик пошкодження тепло- та електростанцій, актуально стоїть питання про забезпечення обігріву в холодні пори року робочих приміщень, таких як лікарні, школи, промислові та об'єкти підприємства.

Одним із варіантів розв'язання цієї задачі є встановлення резервних котлів, що будуть працювати на рідкому паливі, яке значно простіше доставляти автотранспортом у разі пошкодження центральних магістралей.

Для економії коштів паливом може бути мазут, який в декілька разів дешевший за дизельне пальне. Через те, що встановлення означених котлів розглядається як тимчасове рішення, потенційне забруднення навколишнього середовища буде низьким.

Мета

Метою роботи є аналіз існуючих конструктивних рішень для створення мазутних пальників та побудова методики їх розрахунку. Насамперед необхідно мати можливість розрахувати геометричні параметри пальника, що відповідали б заданим початковим умовам, а також факелу полум'я, який він утворює. Ці дані дозволять почати розробку системи опалення на основі такого пальника.

Дані та методи

Для ефективного спалювання в топці рідке пальне розпилюється під час подачі в топку котла. Далі, змішуючись із достатньою кількістю повітря, ця аерозольна суміш займається. Горіння мазуту відбувається головним чином в газовій фазі, коли його краплі випаровуються за рахунок тепла від факелу полум'я. Зі зменшенням розміру крапель, на яке розбивається паливо, випаровування та згорання прискорюється. Повітря, необхідне для згорання, залежно від типу пальника, може подаватися, як разом із паливом в процесі розпилення так і окремо після початку розпилення. До того ж існують рішення, в яких частина повітря потрапляє в топку разом з паливом, а інша — подається уже в саму топку. У цьому випадку повітря розділяється на первинне (те що йде з паливом) та вторинне.

У разі використання мазуту слід враховувати, що його займання відбувається за температур, вищих 0°C . У разі зменшення цієї температури відбувається помутніння палива з утворенням кристалів льоду та виділенням парафінових вуглеводнів, які забруднюють фільтри та значно збільшують густину. Таке явище зумовлює необхідність встановлення системи підігріву пального.

Мазутні пальники головним чином розподіляються за способом розпилення палива (Baukal Jr, 2012, pp. 309–324):

- механічне розпилення;
- розпилення паром або повітрям.

Механічні розпилювачі працюють шляхом подачі дизельного палива під

високим тиском 2 – 7 МПа (Basu et al., 2000, р. 84) залежно від необхідної потужності котла.

Конструкція пальника з механічним розпиленням має розподільну вставку, камеру закручення та розпилювальне сопло (рисунк 1). Конструкція розподільчої вставки передбачає наявність отворів, розташованих ближче до стінок пальника. Проходячи через такі вставки потік розбивається на більш дрібні частини і прямує до камери закручення. У ній пальне закручується, проходячи через спіральні розташовані напрямні, після чого прискорюється через звуження в розпилювальному соплі та потрапляє в топку. Розпилення відбувається завдяки значним відцентровим силам у розігнутому потоці, що виходить із сопла.

Головним недоліком такої конструкції є вузький діапазон регулювання потужності через погіршення розпилення у разі зменшення тиску пального.

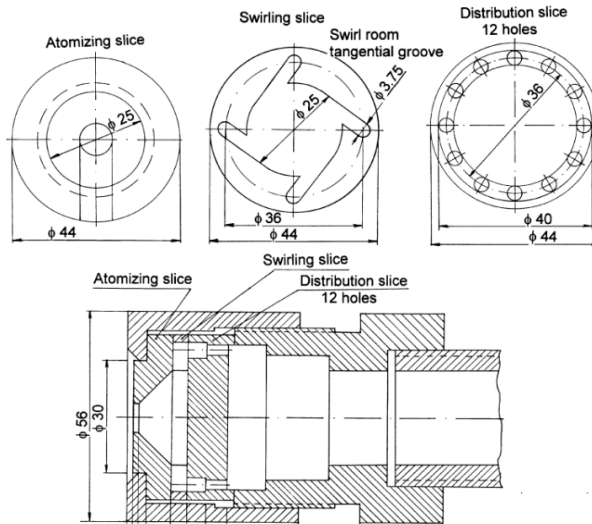


Рисунок 1 – Мазутний пальник з механічним розпиленням
(Джерело: Basu et al., 2000, pp. 83–84)

Для розпилення також може застосовуватись швидкий потік газу, який стикається з повільним потоком пального. За таким принципом працюють пальники з паровим або повітряним розпилювальним середовищем (рисунк 2). У сучасних пальниках необхідна витрата розпилювального газу знаходиться в межах 0.02 – 0.1 кг на кілограм пального. Тиск пального на вході достатньо мати в межах 0.2 – 0.25 МПа, за цих умов пар або повітря подається під тиском 0.5 – 0.75 МПа.

У порівнянні з механічними пальниками, розпилення відбувається більш якісно і з'являється можливість регулювати потужність котла в значно більших діапазонах.

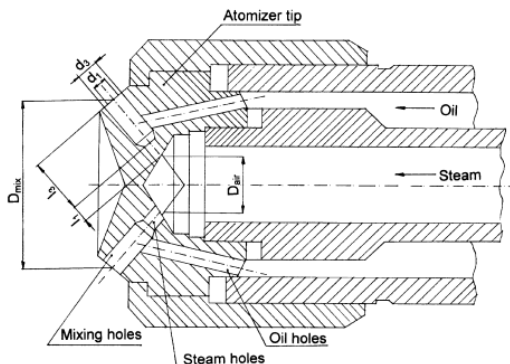


FIGURE 5-7. A Y-type steam oil atomizer

Рисунок 2 – Мазутний пальник з паровим розпилювальним середовищем (Джерело: Basu et al., 2000, р. 94)

Розпилювачі низького тиску (рисунок 3) дозволяють спростити конструкцію пальника та разом із цим зберегти високу якість розпилення мазуту. Повітряний потік рухається зі швидкістю 70 – 100 м/с під надлишковим тиском 2 – 7 КПа (Basu et al., 2000, р. 102).

Через нижчий тиск у системі для розпилення, як правило, використовується все необхідне для горіння повітря.

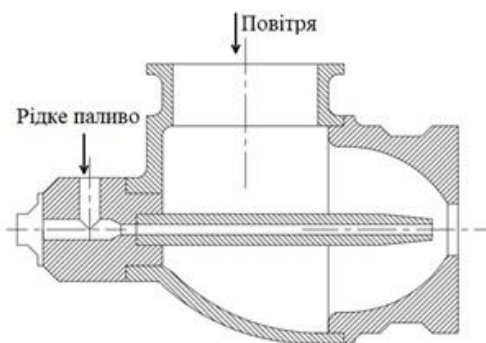


Рисунок 3 – Мазутний пальник низького тиску (Джерело: Створено авторами)

Із вищезазначених видів пальників найбільш придатним для котла опалення є розпилювач низького тиску завдяки простій конструкції та відносно невисоким значенням тисків повітря й пального на вході. Це в свою чергу робить конструкцію системи простішою та дешевшою. Недолік, яким є мала потужність, порівняно з іншими варіантами пальників, не відіграє суттєвої ролі через те, що котел призначений для нагріву води. Він може бути виконаний без високого питомого тепловиділення в топці.

Для побудови геометрії пальника необхідно знайти діаметри паливної і повітряної магістралі (рисунок 4).

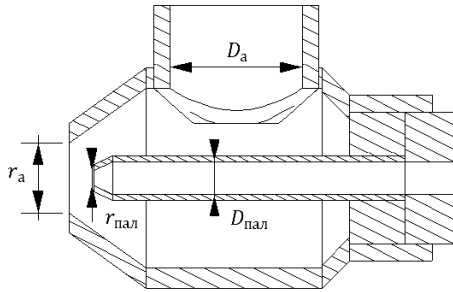


Рисунок 4 – Геометричні характеристики дизельного пальника низького тиску (Джерело: Створено авторами)

Внутрішній діаметр паливної труби $D_{\text{пал}}$ знаходиться за масовою витратою палива $G_{\text{пал}}$:

$$D_{\text{пал}} = \sqrt{(4G_{\text{пал}})(360\pi \cdot \rho_{\text{пал}} \cdot \vartheta_{\text{пал}})}, \text{ м} = 18.8 \sqrt{\frac{G_{\text{пал}}}{\rho_{\text{пал}} \cdot \vartheta_{\text{пал}}}}, \text{ мм} \quad (1)$$

де $\rho_{\text{пал}}$ – щільність палива кг/м^3 ;

де $G_{\text{пал}}$ – масова витрата палива кг/год ;

$\vartheta_{\text{пал}}$ – швидкість подачі пального, береться в межах $0.1\text{--}1 \text{ м/с}$.

Масова витрата пального знаходиться за значенням теплової потужності пальника.

$$G_{\text{пал}} = \frac{W}{Q}, \text{ кг/с} = 3600 \frac{W}{Q} \text{ кг/год} \quad (2)$$

де W – тепловіддача пальника, кВт ;

де Q – теплотворність мазуту, яку можна прийняти 40000 кВт/кг ;

Площа зрізу паливного сопла $A_{\text{пал}}$:

$$A_{\text{пал}} = 196 \frac{G_{\text{пал}}}{\mu_{\text{пал}} \sqrt{\rho_{\text{пал}} \cdot P_{\text{пал}}}}, \text{ мм}^2 \quad (3)$$

де $\mu_{\text{пал}}$ – коефіцієнт розширення паливного сопла кг/м^3 , береться в межах $0.2\text{--}0.3$; $P_{\text{пал}}$ – тиск палива на вході до сопла, знаходиться в межах $30\text{--}150 \text{ КПа}$.

Внутрішній діаметр на вході до повітряного патрубку $D_{\text{а}}$:

$$D_{\text{а}} = 18.8 \sqrt{\frac{G_{\text{а}}}{\rho_{\text{а}} \cdot \vartheta_{\text{а}}}}, \text{ мм} \quad (4)$$

де $\rho_{\text{а}}$ – щільність повітря кг/м^3 ;

$G_{\text{а}}$ – масова витрата повітря кг/с ;

$\vartheta_{\text{а}}$ – швидкість подачі повітря, береться в межах $70\text{--}100 \text{ м/с}$.

Повітря подається з коефіцієнтом надлишку $\alpha=1.1\text{--}1.15$, що забезпечує

повноту згорання:

$$G_a = a \cdot 13.5 G_{\text{пал}}, \text{ кг/год} \quad (5)$$

Площа на виході з повітряного сопла A_a :

$$A_a = 196 \frac{V_a}{\mu_a} \sqrt{\frac{\rho_a}{P_a}}, \text{ мм}^2 \quad (6)$$

де μ_a – коефіцієнт розширення повітряного сопла, береться в межах 0.6–0.8;
 P_a – тиск повітря на вході, знаходиться в межах 2–7 КПа;
 V_a – об'ємна витрата повітря, м³/год.

Довжина полум'я L в першому наближенні (Pourhoseini, et al., 2021):

$$L = 2 \left(42 + \frac{60}{V_a} \right) d_a, \text{ м} \quad (7)$$

Результати

Розрахунок розмірів пальника проведено за формулами 1–6. Потужність топки котла береться рівною 30 кВт, що відповідає значенням для простого настінного котла. В топці котла буде використовуватися лише один пальник:

$$G_{\text{пал}} = 3600 \frac{30}{39000} = 2.7, \text{ кг/год} \quad (8)$$

Швидкість подачі пального $v_{\text{пал}}$ прийнята 0.25 м/с:

$$D_{\text{пал}} = 18.8 \sqrt{\frac{2.7}{890 \cdot 0.3}} = 2.07, \text{ мм} \quad (9)$$

Тиск пального на вході до сопла $P_{\text{пал}} = 30$ КПа, коефіцієнт розширення сопла $\mu_{\text{пал}} = 0.2$:

$$A_{\text{пал}} = 196 \frac{2.7}{0.2 \sqrt{590 \cdot 30000}} = 0.512, \text{ мм}^2 \quad (10)$$

$$d_{\text{пал}} = \sqrt{\frac{4A_{\text{пал}}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0.512}{\pi}} = 0.81, \text{ мм} \quad (11)$$

Надлишок повітря $\alpha = 1.15$:

$$G_a = 1.15 \cdot 13.5 \cdot 41.9 =, \text{ кг/год} \quad (12)$$

Швидкість подачі повітря 15 м/с:

$$D_a = 18.8 \sqrt{\frac{41.9}{1.22 \cdot 15}} = 28.39, \text{ мм} \quad (13)$$

Тиск повітря на вході до сопла $P_a = 7$ КПа, коефіцієнт розширення сопла $\mu_a = 0.6$:

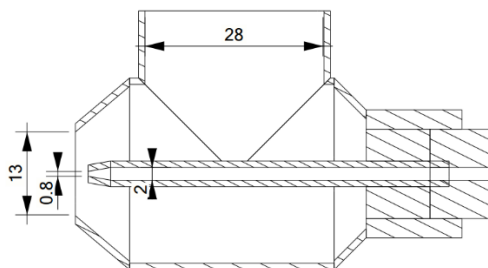
$$A_a = 196 \frac{41.9 / 1.22}{0.2} \sqrt{\frac{1.22}{7000}} = 147.9, \text{ мм}^2 \quad (14)$$

$$d_a = \sqrt{\frac{4A_a}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 147.9}{\pi}} = 13.2, \text{ мм} \quad (15)$$

Довжина факелу полум'я створеного пальником:

$$L = 2 \left(42 + \frac{60}{41.9/1.22} \right) 0.0137 = 1.2, \text{ м} \quad (16)$$

Отримані розміри використані для створення ескізу пальника (рисунок 5)



**Рисунок 5 – Отримані розміри дизельного пальника
(Джерело: Створено авторами)**

Висновки

Були розкриті основи роботи найбільш розповсюджених мазутних пальників — механічних та з розпилювальним середовищем.

На основі пальника з розпилювальним середовищем, як найбільш практичного для створення простих систем опалення, була побудована методика розрахунку його геометричних характеристик та розмірів факелу полум'я, що він утворює. Була продемонстрована послідовність розрахунків.

Отримані результати дають можливість оцінити складність подальшої розробки котла на основі даного пальника.

Посилання

- Basu, P., Kefa, C., & Jestin, L. (2000). *Boilers and Burners*. In *Mechanical Engineering Series*. Springer New York. <https://doi.org/10.1007/978-1-4612-1250-8>
- Baukal Jr, C. E. (Ed.). (2012). *The john zink hamworthy combustion handbook: Volume 1-Fundamentals*. CRC press. <https://doi.org/10.1201/b12975>
- Pourhoseini, S. H., Namvar-Mahboub, M., Hosseini, E., & Alimoradi, A. (2021). A comparative exploration of thermal, radiative and pollutant emission characteristics of oil burner flame using palm oil biodiesel-diesel blend fuel and diesel fuel. *Energy*, 217, 119338. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.119338>