

FRI-9.2-1-THPE-07

INFLUENCE OF MODE AND DESIGN PARAMETERS ON THE COMBUSTION EFFICIENCY OF INJECTED ROTARY JET²¹

Ivan Petrov - PhD Student

Department "Mechanics, Mechanical Engineering and Heat Engineering" Sliven,
Technical University of Sofia
Tel: 0876 06 13 96
E-mail: ivan.apetrov@tu-sofia.bg

Assoc. Prof. Neven Krystev, PhD

Department "Mechanics, Mechanical Engineering and Heat Engineering" Sliven,
Technical University of Sofia
Tel.: 0899 63 69 92
E-mail: nkrystev@tu-sofia.bg

Abstract: The characteristic of flat flame burners is the creation of a radial jet that develops in a plane perpendicular to their axis on a refractory surface. By burning gas fuel in a flat torch, the treated surfaces are heated evenly, the quality of heat treatment is improved, local overheating of the product is avoided (compared to straight burners) and higher process temperatures are ensured. The positive qualities of the spinning jet are due to its aerodynamics. Studying its features and taking them into account when creating new and improving existing engineering design methods is the basis for creating efficient combustion devices. The requirements placed on the creation of new or optimization of existing combustion devices is the need to ensure a regulated level of emissions of harmful gaseous products, which is associated with an appropriate selection of the relevant mode and design parameters of combustion devices. Reducing emissions and increasing the efficiency of combustion devices continues to motivate the scientific and research community, and to stimulate the technological development of combustion systems and the possibility of influencing the combustion process, leading to its optimal management. In the present work, the influence of basic mode and design parameters on the combustion efficiency of an injected rotary jet is analyzed, which is a prerequisite for effectively influencing the combustion process in order to intensify it.

Keywords: burning, flat flame burner, combustion efficiency, injected rotating jet flat torch.

ВЪВЕДЕНИЕ

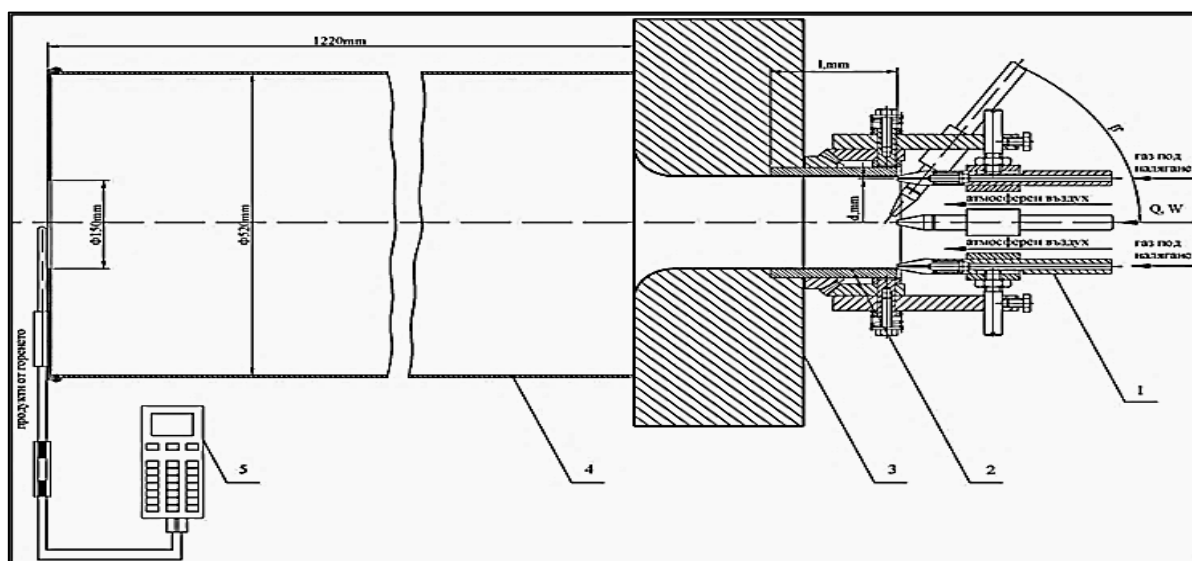
Непрекъснато нарастващите технически и икономически изисквания към различните производствени отрасли, както и поддържането на количеството вредни емисии в димните газове на или под дадено ниво и ефективното използване на енергоносителите, налагат необходимостта от интензифициране на горивните процеси, оптимизиране на работата и модернизирание на съществуващи или замаяната им с нови горивни агрегати.

Завъртяните струи са широко използвани от няколко години за стабилизиране на горивните процеси с висока интензивност. Основни ефекти при възникване на завъртяни струи са подобряване стабилността на факела в резултат на образуването на тороидални рециркулационни зони и намаляване дължината на факела чрез постигане на високи скорости на увличане на околния флуид и бързо смесване, особено близо до границите на рециркулационните зони, което е предпоставка за повишаване ефективността на горивните устройства (Syred, N., & Beér, J. M., 1974; Akhmedov, R., Balagula, T., Rashidov, F., & Sakaev, A., 1977; Lyakovsky, D. N., 1982).

²¹ Докладът е представен на Научната сесия на Секция „Топлотехника, хидравлика и пневматика“ на 25 Октомври 2024 г. с оригинално заглавие на български език: ВЛИЯНИЕ НА РЕЖИМНИТЕ И КОНСТРУКТИВНИ ПАРАМЕТРИ ВЪРХУ ЕФЕКТИВНОСТТА НА ГОРЕНЕ НА ИНЖЕКТИРАНА ЗАВЪРТЯНА СТРУЯ.

ИЗЛОЖЕНИЕ

В настоящата работа е анализирано влиянието на основни режимни и конструктивни параметри върху ефективността на горене на инжектирана завъртяна струя, което е предпоставка за ефективно въздействие върху горивния процес с цел неговото интензифициране. От проведени предходни експерименти и данни от литературни източници (Krystev, N., 2006; Kostov, P., Krystev, N., & Dimitrov, I., 2011; Kostov, K., Denev, I., & Krystev, N., 2022; Atanasov, K., Krystev, N., & Ivanov, I., 2024; Petrov, I. A., 2024) се свежда до определянето на четири основни параметъра, оказващи съществено влияние върху ефективността на горелката: ъгъл на наклон на газовите дюзи – β° ; диаметъра на отворите на дюзите през които изтича газовото гориво – d , mm; топлинно натоварване – Q , kW; дължина на смесителната камера – l , mm. За провеждане на натурните експерименти е използван лабораторен стенд (фиг.1), който се състои от завъртащ апарат (1) с монтирани към него четири дюзи, конструкцията на завъртащия апарат позволява да се реализират ъгли на наклон на дюзите спрямо оста в границите 0-60°, с помощта на ръкохватка, смесителна камера (2), огнеупорна плоча с тороидален отвор (3), горивна камера с диаметър (4) $D=520$ mm, дължина $L=1220$ mm и отвор за продуктите от горенето с диаметър 150mm. Началните условия при които са проведени експериментите са: налягане на изхода на горелката – атмосферно; температура на околната среда - 20°C; входно налягане на газовия поток, преди колектора на дюзите – 0,2 МРа. Гориво – технически чист пропан (C_3H_8). За осъществяване на експерименталните изследвания е използван газоанализатор “Testo 300M” (5).



Фиг.1. Схема на плоскопламъчна горелка

Топлинният баланс на горивното устройство се изготвя, за да се определи икономическата ефективност на неговата работа и по този начин дава представа за съвършенството на горивния процес. Топлинният баланс позволява да се конструира правилността на проведените изпитания и координацията на отделните експерименти (Taimarov, M. A., 2016). Топлинната ефективност на горелката се оценява чрез коефициента на полезно действие (η), коефициент на полезно действие бруто ($\eta_{бр}$) и коефициент на полезно действие нето ($\eta_{нт}$). Брутната ефективност може да се определи от резултатите получени при обратен баланс, като се използва израза (Torbov, C., Popov, K., Yurukov, I., & Peev, D., 1980):

$$\eta_{бр} = q_1 = 100 - (q_2 + q_3 + q_4), \% \quad (1)$$

където: q_2 – загуба на топлина с изходящите димни газове; q_3 – загуба на топлина от химическо недоизгаряне; q_4 – загуба на топлина от топлообмен с околната среда, приема се 5%.

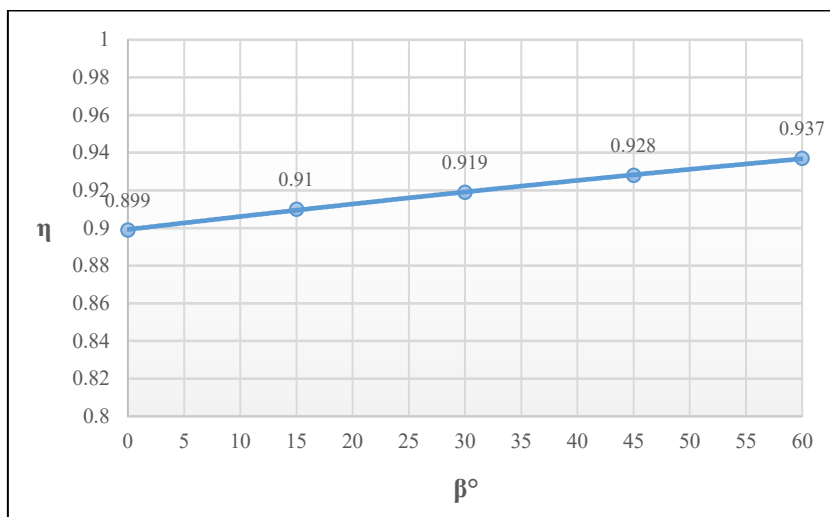
$$q_2 = \left[(FT - AT) \cdot \left(\frac{A_2}{(21 - O_2)} + B \right) \right] \cdot K_k, \% \quad (2)$$

Коефициентите A_2 , B и K_k се получават след въвеждане характеристиките на горивото в менюто на газоанализатора.

$$q_3 = \frac{Q_{\text{пр.нагорене}}}{P} \cdot h \cdot 100, \% \quad (3)$$

където: $Q_{\text{пр.нагорене}}$ – топлина от продуктите на горене; P – топлина на изгаряне отнесена към 1 m^3 сухи продукти на горене за газово гориво.

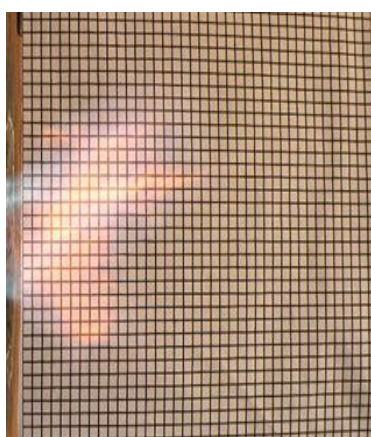
На фигура 2 е показано изменението на коефициента на полезно действие (η) в зависимост от промяната на ъгъла на наклон на газовите дюзи (β) т.е. $\eta = f(\beta)$. Зависимостта е получена при диаметър на газовите дюзи $d=0,8\text{mm}$, дължина на смесителната камера $l=200\text{mm}$ и топлинно натоварване на горелката $Q=70\text{kW}$, което отговаря на дебит на газа $2,5\text{ m}^3/\text{h}$.



Фиг. 2. Изменението на коефициента на полезно действие в зависимост от промяната на ъгъла на наклон на газовите дюзи



Фиг. 3. $\beta=0^\circ$



Фиг. 4. $\beta=30^\circ$

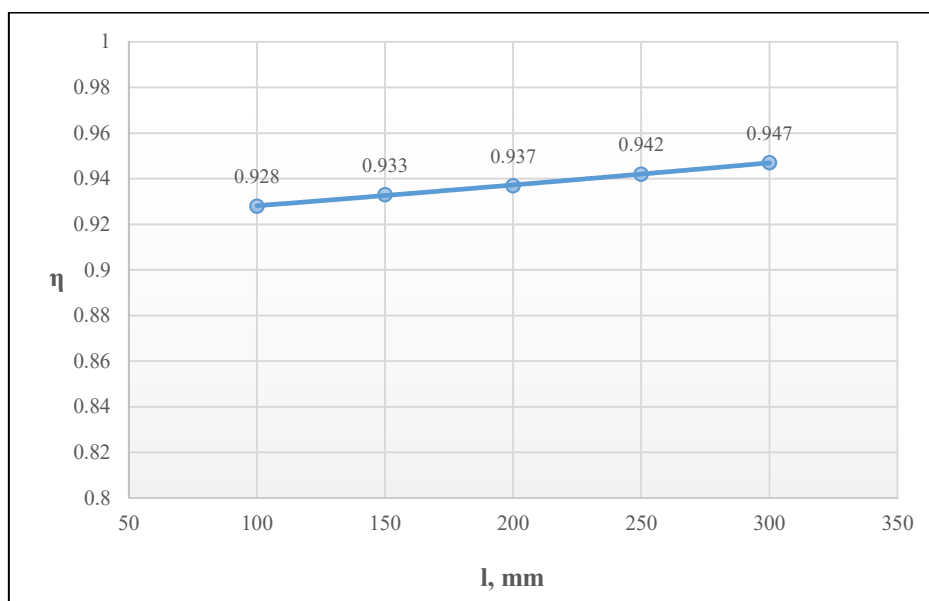


Фиг. 5. $\beta=60^\circ$

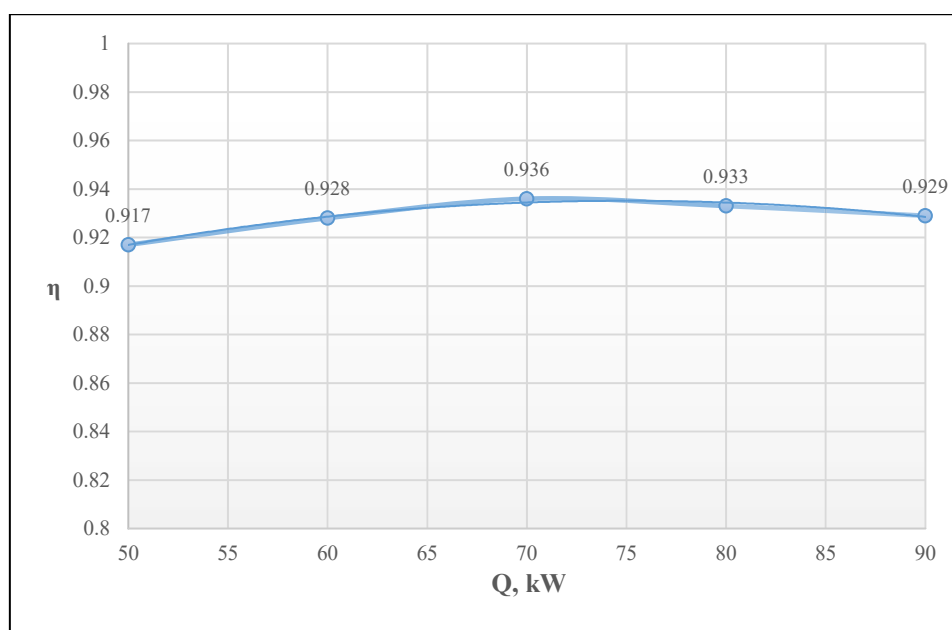
На фигури 3, 4 и 5 са показани изображения на факела при различен ъгъл на газовите дюзи, като се наблюдава, че с увеличаване на ъгъла на газовите струи факела постепенно от правоточен преминава в умерено завъртян и при ъгъл 60° преминава в силно завъртян, като се наблюдава непрекъснато обтичане и прилепване на струята към външната повърхност на

горивното устройство, проявлението в литературата (Akhmedov, R., Balagula, T., Rashidov, F., & Sakaev, A., 1977; Lyakovsky, D. N., 1982) се нарича ефект на Коанда. Именно този ефект се използва за създаване на завъртяна струя по аеродинамичен способ.

На фигура 6 е показано изменението на ефективността на горивното устройство с промяна на дължината на смесителния тракт, при условия $\beta=60^\circ$, диаметър на газовите дюзи $d=0,8\text{mm}$ и топлинно натоварване $Q=70\text{kW}$. На фигура 7 е показано изменението на коефициента на полезно действие при различни топлинни натоварвания. Като за целта са използвани дюзи с различен диаметър $d=0,7\text{mm}$; $0,8\text{mm}$; $0,9\text{mm}$. Като при $d=0,7\text{mm}$ топлинното натоварване е $Q=50\text{kW}$, което съответства на разход на гориво $1,8\text{m}^3/\text{h}$. При $d=0,8\text{mm}$ топлинното натоварване е $Q=70\text{kW}$, което съответства на разход на гориво $2,5\text{m}^3/\text{h}$. При $d=0,9\text{mm}$ топлинното натоварване е $Q=90\text{kW}$, което съответства на разход на гориво $3,2\text{m}^3/\text{h}$. Дължина на смесителния тракт $l=200\text{mm}$ и наклон на газовите дюзи $\beta=60^\circ$.



Фиг. 6. Изменение ефективността на горивното устройство с промяна на дължината на смесителния тракт



Фиг. 7. Изменение коефициента на полезно действие при различни топлинни натоварвания

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

След анализиране на проведените експерименти и получените от тях резултати може да се заключи, че ефективността на горелката зависи от: $\eta = f(\beta, d, Q, l)$. Като от получените и изведени зависимости, се наблюдава, че влиянието на ъгъла на дюзите като конструктивен параметър влияе значително върху ефективността на горелката. Забелязва се също, че при увеличаване дължината на смесителния тракт К.П.Д. нараства в малки граници, по-дългият участък на смесване, показва че изгарянето завършва пълно на по-кратко разстояние. С увеличаване диаметъра на дюзите, респективно с увеличаване на топлинното натоварване се забелязва покачване на К.П.Д до определени граници, след което има плавно понижаване. Режимните и конструктивни параметри са ефективни средства за влияние върху коефициента на полезно действие на горивното устройство, което може да се използва в практиката.

REFERENCES

- Akhmedov, R., Balagula, T., Rashidov, F., & Sakaev, A. (1977). Aerodynamics of swirling jet. Energia. Moscow. 1977 (**Оригинално заглавие:** Ахмедов, Р., Балагула, Т., Рашидов, Ф., Сакаев, А. *Аэродинамика закрученной струи*. Энергия. Москва. 1977).
- Atanasov, K., Krystev, N., & Ivanov, I. (2024). Possibilities of using composite flare obtained from gas injection burners. Mechanics of Machines, ISSN0861-9727, Bulctomm, Varna, 2024 (**Оригинално заглавие:** Атанасов, К., Кръстев, Н., Иванов, И. *Възможности за използване на съставен факел получен от инжекционни газови горелки*. Механика на машините, ISSN0861-9727, Bulctomm, Варна, 2024).
- Kostov, K., Denev, I., & Krystev, N. (2022). Research of the combustion process in the initial mixing section of the injection gas burner. Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal 2022;25(3):21-34, ISSN 1429-6675, <https://doi.org/10.33223/epj/152805>.
- Kostov, P., Krystev, N., & Dimitrov, I. (2011). Influence of the mode and design parameters of a vortex gas burner on the basic dimensions and shape of a flat injected flare, Heat Engineering, Volume 2, ISSN 1314-2550, 2011 (**Оригинално заглавие:** П. Костов, Н. Кръстев, И. Димитров, *Влияние на режимните и конструктивни параметри на вихрова газова горелка върху основните размери и формата на плосък инжектиран факел*, Топлотехника, том 2, ISSN 1314-2550, 2011).
- Krystev, N. (2006). Influence of excess air coefficient of injection and flat flame burner on NO_x emissions, Journal of Mechanics of Machines, TU-Varna, vol. 62, ISSN 0861-9727, p. 59, 2006. (**Оригинално заглавие:** Кръстев Н., „Влияние на коефициента на излишък на въздуха на инжекционна и плоскопламъчна горелка върху емисиите NO_x“, сп. Механика на машините”, Изд. на ТУ-Варна, кн. 62, ISSN 0861-9727, с. 59, 2006 г).
- Krystev, N. (2006). Influence of the mode and design parameters of the combustion device on the formation of nitrogen oxides during combustion of gaseous fuel, Dissertation for the award of the educational and scientific degree Doctor, VAK, Sliven, No/Date: 16-14 / 20.12.2006 (**Оригинално заглавие:** Кръстев, Н., *Влияние на режимните и конструктивни параметри на горивното устройство върху образуването на азотни оксиди при изгаряне на газово гориво*, Дисертация за присъждане на образователната и научна степен Доктор, ВАК, Сливен, No/дата: 16-14 / 20.12.2006).
- Lyakovsky, D. N. (1982). Turbulence in straight and twisted jets, Proc. Theory and Practice of Gas Combustion, L., Nedra, 1982. (**Оригинално заглавие:** Ляковский Д. Н., *Турбулентност в правоточные и закрученной струи*, сб. Теория и практика сжигания газа, Л., Недра, 1982).
- Petrov, I. A. (2024). Regression analysis of experimental data in a study of the performance of a flat flame burner. Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal, 27(2), pp.89-104. <https://doi.org/10.33223/epj/185719>.

Syred, N., & Beér, J. M. (1974). Combustion in swirling flows: A review, Combustion and Flame, Volume 23, Issue 2, 1974, Pages 143-201, ISSN 0010-2180, [https://doi.org/10.1016/0010-2180\(74\)90057-1](https://doi.org/10.1016/0010-2180(74)90057-1).

Taimarov, M. A. (2016). Determination of boiler efficiency by inverse balance during combustion of liquid fuel: Methodical instructions for laboratory work on the discipline "Boiler units and their design" - Kazan: Kazan. state power University, 2016. (**Оригинално заглавие:** Таймаров М.А., *Определение КПД котла по обратному балансу при сжигании жидкого топлива: Методические указания к лабораторной работе по дисциплине «Котлоагрегаты и их конструирование»* – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2016).

Torbov, C., Popov, K., Yurukov, I., & Peev, D. (1980). Control of the combustion process. Technika Publishing House. Sofia. 1980 (**Оригинално заглавие:** Торбов Ц., Попов К, Юруков И., Пеев Д., *Контрол на горивния процес*, издателство Техника, София, 1980).