

## DETERMINING THE PARAMETERS OF THE COMBUSTION PROCESS OF A MIXTURE OF NATURAL GAS AND HYDROGEN

**Lachezar Hristov, Martin Boyadzhiev**

University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, 1700 Sofia; E-mail: lachezar.hr@gmail.com; martinb@mgu.bg

**ABSTRACT.** The article defines the parameters of a mixture of natural gas and hydrogen. An analysis of the change in the parameters characterising the combustion process of a mixture of natural gas and hydrogen was made. At a hydrogen concentration of 5%, 10%, 15%, and 20% in natural gas, the changes in the parameters were determined: super-compressibility coefficient, density, Wobbe number, calorific value, specific heat of combustion. The volume of air required for the combustion of a mixture of natural gas and hydrogen at concentrations from 5% to 20% was calculated. The calculations and analyses made by them are necessary for determining the operation of gas appliances when mixing natural gas with hydrogen.

**Key words:** natural gas, hydrogen, gas device.

### ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ПАРАМЕТРИТЕ НА ГОРИВЕН ПРОЦЕС НА СМЕС НА ПРИРОДЕН ГАЗ И ВОДОРОД

**Лъчезар Христов, Мартин Бояджиев**

Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София

**РЕЗЮМЕ.** В статията са определени параметрите на смес на природен газ и водород. Направен е анализ на изменението на параметрите, характеризиращи горивния процес на смес на природен газ и водород. При концентрация на водорода 5%, 10%, 15% и 20% в природния газ са определени изменението на параметрите: коефициент на свръхсвиваемост, плътност, число на Воббе, calorificност, специфична топлина на изгаряне. Изчислен е обемът на въздуха, необходим за изгарянето на смес на природен газ и водород при концентрация от 5 до 20%. Направените изчисления и анализи от тях са необходими за определение на работата на газовите уреди при смесване на природен газ с водород.

**Ключови думи:** природен газ, водород, газови уреди.

### Въведение

Инжектирането на водород в газопреносната мрежа и последващото му използване в инсталираните битови уреди (едноконтурен и двуконтурен газов котел, газова печка и конвектори), както и ограничаването на фосилните горива, съдържащи въглерод, е залегнало в енергийната програма на ЕС. Това налага да се определи влиянието на концентрацията на водорода в природния газ върху работата на битовите газови уреди. За определяне ефективността на работата на битовите газови уреди с газоводородната смес е необходимо да се определят изменението на параметрите, характеризиращи горивния процес. Основните параметри на горивния процес са число на Воббе, calorificност, специфична топлина на изгаряне и съдържание на продуктите от процеса на горене. За целта е разработена методика за определяне на параметрите, характеризиращи горивния процес, при съдържание на водород 5, 10, 15 и 20% в природни газ.

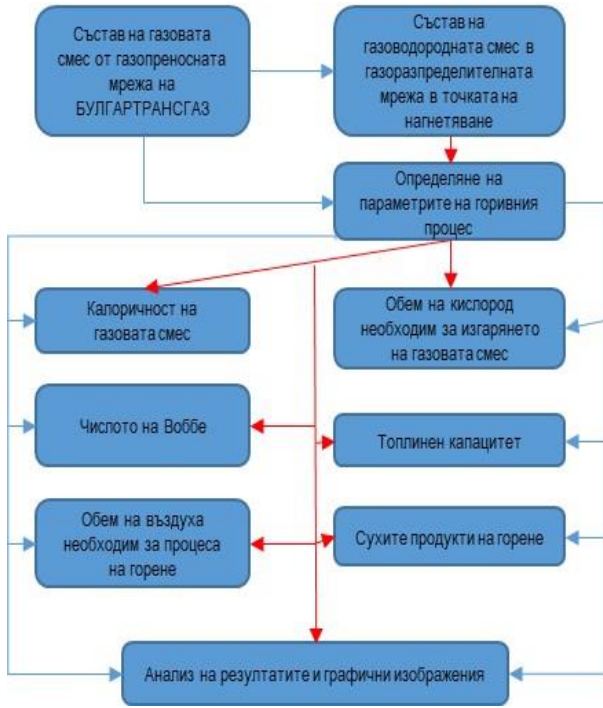
### Методика за определяне параметрите на горивния процес.

Методиката за определяне на параметрите на горивния процес на газоводородна смес е представена на (фиг.1) под формата на блок схема.

Съставът на природния газ и получаваната газоводородна смес е представена в (таблица1) .

Таблица 1. Състав на газа и газоводородната смес

Метан	Етан	Пропан	Бутан	Въглероден диоксид	Азот	Сероводород	Водород
CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	H <sub>2</sub>
98,52	0,34	0,13	0,03	0,03	0,93	0,02	0,00
93,594	0,323	0,124	0,029	0,029	0,884	0,019	5,00
88,668	0,306	0,117	0,027	0,027	0,837	0,018	10,00
83,742	0,289	0,111	0,026	0,026	0,791	0,017	15,00
78,816	0,272	0,104	0,024	0,024	0,744	0,016	20,00



Фиг. 1. Блок схема на методиката за определяне на горивния процес на газоводородна смес

За определяне параметрите на горивния процес се използват следните формули (Николов,2007, Занева,2015):

$$H_T = \frac{1}{z} \sum_{i=1}^{i=n} X_i H_{Ti} \quad (1)$$

където:  $H_T$  е калоричността на газа,  $\text{kJ/m}^3$ ;  
 $z$  - коефициент на свръхсвиваемост на газа;  
 $X_i$  - моларна концентрация на  $i$ -тия компонент;  
 $H_{Ti}$  - калоричност на  $i$ -тия компонент на газа,  $\text{kJ/m}^3$

Определя се специфичната топлина на изгаряне (калоричност) на газоводородната смес с горна и долна граница.

Числото на Воббе се определя по следната зависимост:

$$W_g = \frac{H_g}{\sqrt{\rho_{zg}}} , \text{MJ/m}^3 \quad (2)$$

където,  $W_g$  е числото на Воббе,  $\text{MJ/m}^3$ ;  
 $H_g$  – горна граница на специфичната топлина на изгаряне;  
 $\sqrt{\rho_{zg}}$  - е корен квадратен от абсолютната плътност на газовата смес;

$$V_a^o = \frac{100}{21} \cdot V_{O_2}^o , \text{m}^3/\text{m}^3 \quad (3)$$

където,  $V_a^o$  е обемът въздух, необходим за изгарянето на  $1\text{m}^3$  газова смес;

$V_{O_2}^o$  - обем на кислорода, необходим за изгарянето на  $1\text{m}^3$ ;

$$V_{O_2} = (\alpha - 1) \cdot V_{O_2}^o , \text{m}^3/\text{m}^3 \quad (4)$$

където,  $V_{O_2}$  е обемът кислород, необходим за изгарянето на  $1\text{m}^3$  газ;

$\alpha$  – коефициент на излишъка на въздуха;

Преизчисление на специфичния топлинен капацитет в  $\text{kJ/kg.K}$  се извършва по формулата:

$$C_{p(m)} = \frac{C_p}{M} , \text{kJ/kg.K} \quad (5)$$

където,  $C_{p(m)}$  е преизчисление на специфичния топлинен капацитет;

$C_p$  – специфични топлинен капацитет,  $\text{kJ/kmol.K}$

$M$  – моларната маса

Определянето на сухите продукти на горене се използват следните формули:

За определяне на  $\text{CO}_2$

$$\text{CO}_2 = 100 \cdot V_{\text{CO}_2} / V_D , \% \quad (6)$$

$$\text{O}_2 = 100 \cdot V_{\text{O}_2} / V_D , \% \quad (7)$$

$$\text{N}_2 = 100 \cdot V_{\text{N}_2} / V_D , \% \quad (8)$$

където,  $V_D$  е обема на сухите продукти на горене;

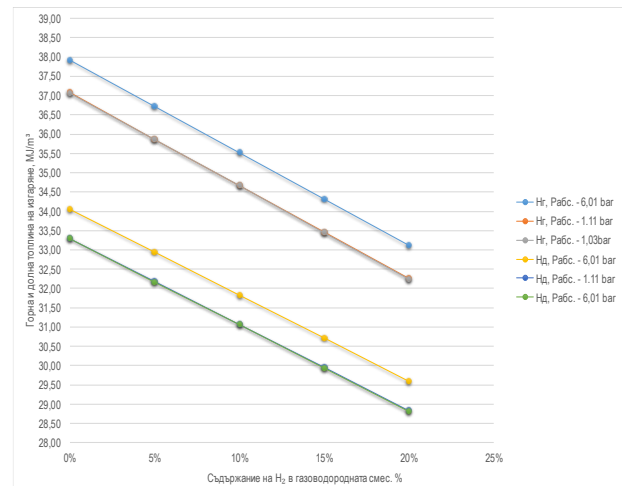
$V_{\text{CO}_2}$  - обема на въглероден диоксид;

$V_{\text{O}_2}$  - обема на кислорода;

$V_{\text{N}_2}$  - обема на азота;

## Резултати от изчисленията

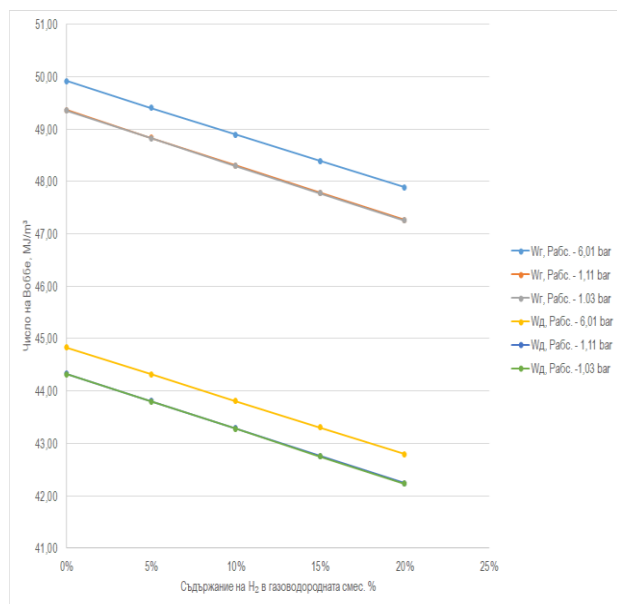
На фиг.2 е показано изменението на специфичната топлина на изгаряне при различно съдържание на водород и абсолютно налягане.



Фиг.2. Специфична топлина на изгаряне (калоричност) на газоводородната смес

От направените изчисления се вижда понижаване на специфичната топлина на изгаряне (калоричност) на горна

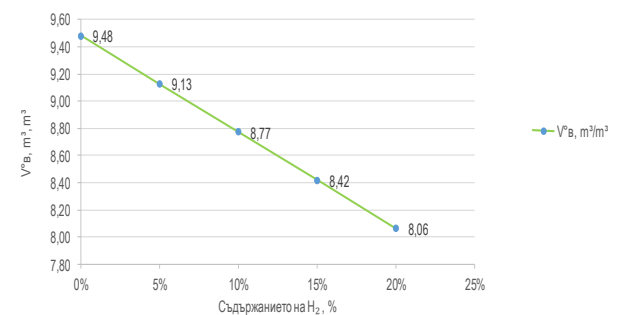
и долна граница при стандартна температура (293,15 °K) при три варианта на абсолютното налягане (P- 6.01, 1.11 и 1.03 bar). С увеличаване на процентното съдържание на водород от 5 до 20%, специфичната топлина на изгаряне намалява от 35.85 до 32.24 MJ/m<sup>3</sup> при налягане 20 mbar.



Фиг.3. Изменение на числото на Воббе.

От Фиг. 3 се вижда, че с увеличаване на процентното съдържане на водород в газодородната смес, числото на Воббе намалява от 48,82 до 47,25 MJ/m<sup>3</sup> при горна граница и от 43.79 до 42.23 MJ/m<sup>3</sup> при долна граница. Намалението и при трите разгледани варианта се описва с линейна зависимост.

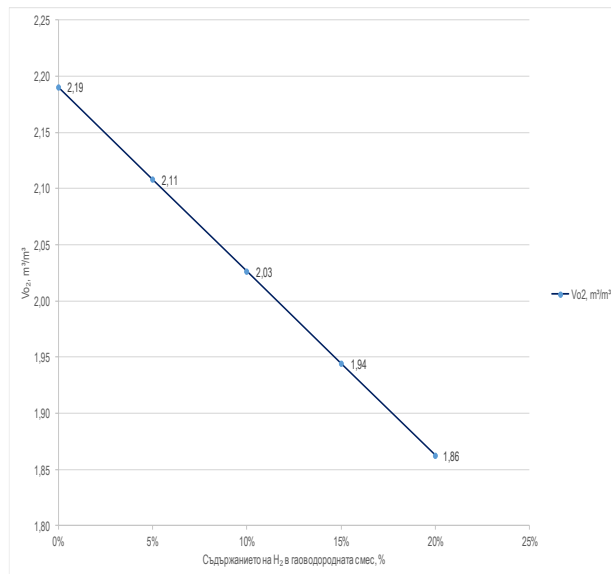
За изгарянето на 1m<sup>3</sup> природен газ е необходимо 9.48 m<sup>3</sup> въздух. При 20% съдържание на водород в газодородната смес необходимото количество въздух е 8.06 m<sup>3</sup>, представено на фиг.4.



Фиг.4. Необходим обем въздух за горене

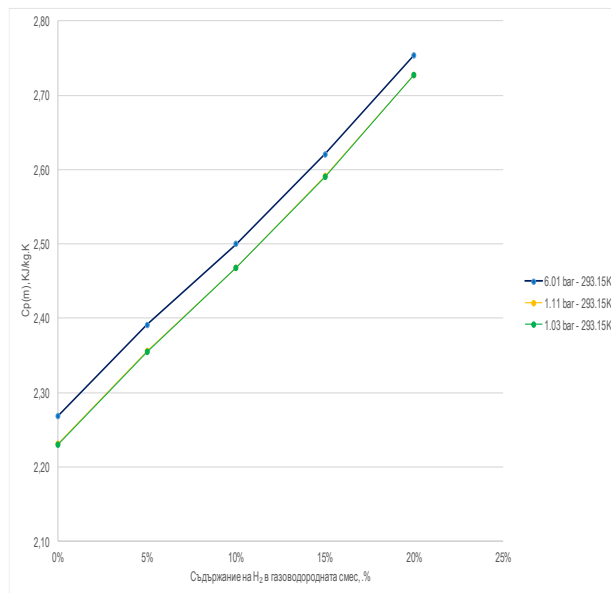
На фиг.5 е показано изменението на необходимото количество кислород за осъществяване на процеса на горене в зависимост от съдържанието на водород в газодородната смес.

От направените изчисления се установи намаляване на необходимото количество кислород за осъществяване на процеса на горене с увеличаване съдържанието на водород в газодородната смес.



Фиг.5. Обем кислород за горене

Изменението на специфичния топлинен капацитет на газодородната смес при различно съдържание на водород е показано на фиг. 6.

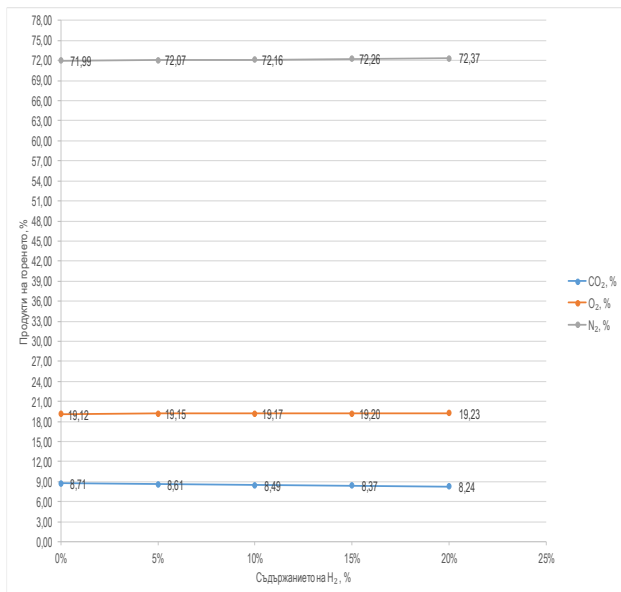


Фиг.6. Изменение на специфичния топлинен капацитет

Увеличаването на специфичния топлинен капацитет на газодородната смес със съдържание от 5 до 20% водород се описва с линейна зависимост. При съдържание на 20% водород в газодородната смес специфичния топлинен капацитет е 2.72 KJ/kg.K.

Сухите продукти от горенето (въглероден диоксид, кислород и азот) на газодородната смес при различно съдържание на водород са показани на фиг.7.

Съдържанието на въглероден диоксид в изгорелите газове с увеличаване на съдържанието на водород въглеродния диоксид намалява.



Фиг.7. Сухи продукти на горене

## Заклучение

Анализът на получените резултати показва, че при добавянето на водород от 5 до 20% в природния газ, газоводородната смес се характеризира с намаляване на калоричността, числото на Воббе, необходимото

количество кислород, въздух и въглероден диоксид. Получените резултати са основа за провеждане на лабораторни експериментални изследвания за определяне на ефективната работа на газови котли с газоводородна смес.

## Литература

- Георгиев, Л., Н. Лаков. 2011. Анализ на възможностите за производство на електрическа енергия от различни енергийни източници. *Девета научно-практическа сесия*, София 02-03 май, ФНТС, стр.135-141.
- Занева, Е., Н. Христов. 2015, *Ръководство за упражнения по Свойства на резервоарните и възлеводородните системи*. ИК МГУ „Св. Иван Рилски“, София.
- Караджов, М. 2022. Проектиране, изграждане, поддръжка и сервиз на битови хибридни системи с използване на природен газ. *сп. „Минно дело и геология“*, бр. 9, София, стр. 42-46.
- Митков, В., Л. Георгиев, Н. Лаков. 2022, Производство на електрическа и топлинна енергия от природен газ. *Национална научно – Техническа конференция с международно участие „Автоматизация в минната индустрия и металургията“* БУЛКАМК, стр. 87-91
- Николов, Г. 2007; *Разпределение и използване на природен газ*, Юкономикс, София. 562 стр.