

# **ПРАКТИЧНА РОБОТА №1. Веб калькулятор для розрахунку складу сухої та горючої маси палива та нижчої теплоти згоряння для робочої, сухої та горючої маси за заданим складом компонентів палива.**

## **ЗМІСТ**

ПРАКТИЧНА РОБОТА №1. Веб калькулятор для розрахунку складу сухої та горючої маси палива та нижчої теплоти згоряння для робочої, сухої та горючої маси за заданим складом компонентів палива. ....	1
1.1. Теоретичний матеріал.....	1
1.2. Завдання 1 .....	4
1.2.1. Контрольний приклад .....	4
1.2.2. Результат контрольно прикладу .....	5
1.3. Завдання 2 .....	6
1.3.1. Контрольний приклад .....	6
1.3.2. Результат контрольно прикладу .....	7
1.4. Склад і вимоги до оформлення звіту з виконання роботи.....	7
Література .....	7

### **1.1. Теоретичний матеріал**

**Паливом** називають складні органічні сполуки, при згорянні яких виділяється значна кількість енергії. За фізичним станом паливо розподіляють на рідке, тверде та газоподібне. До твердого палива відносять дрова, торф, вугілля, сланці, до рідкого - продукти переробки нафти: бензин, керосин; до газоподібного - природний та штучний гази. За способом одержання паливо розрізняють штучне та натуральне. Натуральне паливо зустрічається в природі у готовому для використання вигляді (дрова, торф, природний газ тощо). Штучне паливо отримують в результаті фізико-хімічних процесів, які здійснюються в промисловому виробництві (коксування кам'яного вугілля, крекінг нафти). Важливими характеристиками палива є: склад, теплота згоряння, температура запалювання, вологість [5].

Елементарний склад твердого та рідкого палива можна визначити таким рівнянням. Хімічний аналіз палива показує, що воно складається з семи компонентів і його елементарний склад можна виразити формулою:

$$C^P + H^P + S^P + O^P + N^P + A + W = 100\% \quad (1.1)$$

де: С - вуглець; Н - водень; S - сірка; N - азот; О - кисень; W - волога; А - зола.

Індекс «Р» означає робоче паливо, тобто паливо в тому вигляді, в якому воно поступає до топки.

Склад палива називають елементарним, тому що воно складається із окремих, не сполучених між собою елементів. Частина елементів палива є горючим, частина - баластним.

Найбільш цінними складовими палива є вуглець і водень, так як разом з частиною сірки вони є горючими елементами. Кисень служить окислювачем, знаходиться в з'єднанні з горючими елементами палива і тому зменшує його теплоту згоряння. Азот палива є його інертною складової, тому його включають в баласт.

Сірка може бути розділена на горючу і негорючу та відноситься до шкідливих складових палива з наступних причин. При горінні палива з сіркою виходить двоокис сірки  $\text{SO}_2$ , Частина якої окислюється, утворюючи вищий оксид  $\text{SO}_3$ . При цьому в продуктах згоряння завжди є пари води, які утворюють з парами  $\text{SO}_3$  пари сірчаної кислоти  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

**Зола** палива складається з елементів, що утворюють негорючі мінеральні сполуки і золою прийнято вважати залишок, що утворився від прожарювання палива при  $800^\circ \text{C}$ .

**Волога** палива є небажаною домішкою, тому що не тільки зменшується вміст горючих елементів, але і на її пароутворення (яке обов'язково відбувається) витрачається частина теплоти згорання палива. Від вологи паливо звільняється при сушінні з температурою, що трохи перевищує  $100^\circ \text{C}$  [5].

Складові та характеристики палива можуть бути перераховані на **робочу (raw)**, **суху (dry)** масу (коли в паливі відсутня влага), **суху беззольну (dry ash-free)** або **горючу масу** (коли в паливі відсутня негорюча частина - зола та влага). У таблиці 1.1 наведено множники перерахунку масового вмісту складових палива на робочу, суху або горючу масу.

**Таблиця 1.1. Перерахунок масового вмісту складових палива**

Маса	Початкове значення маси		
	робочої	сухої	горючої
<b>Робоча</b>	1	$(100 - W^r)/100$	$(100 - W^r - A^r)/100$
<b>Суха</b>	$100/(100 - W^r)$	1	$(100 - A^d)/100$
<b>Горюча</b>	$100/(100 - W^r - A^r)$	$100/(100 - A^d)$	1

де:

$W^r$  - масовий вміст влаги в паливі на робочу масу, %;

$A^r$  - масовий вміст золи в паливі на робочу масу, %;

$A^d$  - масовий вміст золи в паливі на суху масу, %.

Крім елементарного складу до найважливіших характеристик палива відноситься **теплота згоряння (вища і нижча)**. Вища теплота згоряння палива  $Q_B^P$  – це кількість теплоти, що виділяється при повному згорянні 1 кг палива за умови конденсації парів води, що утворюються при згорянні. У реальних умовах, наприклад при згорянні палива в котлі, намагаються не допускати конденсації водяної пари, щоб уникнути утворення агресивної сірчаної кислоти. Тому на практиці користуються поняттям нижчої теплоти згоряння палива  $Q_H^P$ , що є кількістю теплоти, виділеної при повному згорянні палива за вирахуванням теплоти конденсації водяної пари, що міститься в паливі. Теплота згоряння різноманітних видів палива неоднакова, тому для співставлення різноманітних видів палива та вирішення питання про заміну одного виду палива іншим введено поняття «**умовне паливо**».

Умовним називають таке паливо, теплота якого при згорянні складає 29,3 Дж/кг.

Нижча теплота згоряння розраховується за формулою Менделєєва:

$$Q^P_H = 339C^P + 1030H^P - 108,8(\%O^P - \%_0S^P) - 25W^P, \text{ кДж/кг} \quad (1.2)$$

У таблиці 1.2 наведено формули перерахунку нижчої робочої теплоти згоряння палива  $Q'_i$  в нижчу суху теплоту згоряння палива  $Q^d_i$  та нижчу горючу теплоту згоряння палива  $Q^{daf}_i$  і навпаки.

**Таблиця 1.2. Перерахунок теплоти згоряння палива [1]**

Теплота згоряння	Початкове значення маси		
	Робочої	Сухої	горючої
$Q'_i$	1	$Q^d_i \frac{100 - W^r}{100} - 0,025W^r$	$Q^{daf}_i \frac{100 - W^r - A^r}{100} - 0,025W^r$
$Q^d_i$	$(Q'_i + 0,025W^r) \frac{100}{100 - W^r}$	1	$Q^{daf}_i \frac{100 - A^d}{100}$
$Q^{daf}_i$	$(Q'_i + 0,025W^r) \frac{100}{100 - W^r - A^r}$	$Q^d_i \frac{100}{100 - A^d}$	1

де:

$Q'_i$  - нижча робоча теплота згоряння палива, МДж/кг;

$Q^d_i$  - нижча суха теплота згоряння палива, МДж/кг;

$Q^{daf}_i$  - нижча горюча теплота згоряння палива, МДж/кг;

$W^r$  - масовий вміст вологи в паливі на робочу масу, %;

$A^r$  - масовий вміст золи в паливі на робочу масу, %;

$A^d$  - масовий вміст золи в паливі на суху масу, %.

При неповному окисленні вуглецю палива в енергетичній установці величина  $Q'_i$  фактично зменшується на величину енергії палива, що не доторіло, а саме:

$$Q'^*_i = Q'_i - Q_C(1 - \varepsilon_C) \quad (1.3)$$

де:

$Q'^*_i$  - нижча теплота згоряння палива з урахуванням механічного недопалу, МДж/кг;

$Q'_i$  - нижча теплота згоряння палива, МДж/кг;

$Q_C$  - теплота згоряння вуглецю, МДж/кг,  $Q_C = 32,657$  МДж/кг;

$\varepsilon_C$  - ступінь окислення вуглецю палива (формула (1.5)).

Під час спалювання палива можливе його неповне згоряння, у першу чергу механічний недопал, внаслідок чого до викидів твердих частинок та шлаку потрапляють горючі речовини, головним чином вуглець.

Масовий вміст вуглецю  $C^{B3r}$ , який згоряє, у % на робочу масу, виражається через масовий вміст вуглецю в паливі  $C^r$  за формулою:

$$C^{B3r} = \varepsilon_C \cdot C^r, \quad (1.4)$$

де:

$\varepsilon_C$  - ступінь окислення вуглецю палива;

$C^r$  - масовий вміст вуглецю в паливі на робочу масу, %.

Ефективність процесу горіння визначає ступінь окислення вуглецю палива  $\varepsilon_C$ . При повному згорянні палива ступінь окислення дорівнює одиниці, але за наявності не догоряння палива його значення зменшується. Ступінь окислення вуглецю палива  $\varepsilon_C$  в енергетичній установці розраховується за формулою:

$$\varepsilon_C = 1 - \frac{A^r}{C^r} \left( a_{\text{вих}} \frac{\Gamma_{\text{вих}}}{100 - \Gamma_{\text{вих}}} + (1 - a_{\text{вих}}) \frac{\Gamma_{\text{шл}}}{100 - \Gamma_{\text{шл}}} \right) \quad (1.5)$$

де:

$A^r$  - масовий вміст золи в паливі на робочу масу, %;

$C^r$  - масовий вміст вуглецю в паливі на робочу масу, %;

$a_{\text{вих}}$  - частка золи, яка видаляється у вигляді леткої золи;

$\Gamma_{\text{вих}}$  - масовий вміст горючих речовин у виносі твердих частинок, %;

$\Gamma_{\text{шл}}$  - масовий вміст горючих речовин у шлаку, %.

Для природного газу рекомендоване значення  $\varepsilon_C$  становить 0,995, для мазуту - 0,99.

Вміст золи  $A^r$  в паливі та горючих речовин у шлаку  $\Gamma_{\text{шл}}$  і викидах твердих частинок  $\Gamma_{\text{вих}}$  визначається технічним аналізом палива (ГОСТ 27313—95), а також обсягом шлаку та твердих частинок, які виходять з енергетичної установки.

Частка золи  $a_{\text{вих}}$ , яка виноситься з енергетичної установки у вигляді леткої золи, залежить від технології спалювання палива. Вона визначається для енергетичної установки за паспортними даними та при проведенні її випробувань.

Також, до важливих характеристик відносяться: **в'язкість; температура застигання, спалаху і займання палива.** В'язкістю називається здатність рідини чинити опір здвигаючим зусиллям, тобто чим більше в'язкість рідини, тим вона менш текуча. В'язкість частіше вимірюється в градусах «в'язкості умовної» (ВУ) - це відношення часу витікання 200 мл випробовуваної рідини через калібриваний отвір діаметром 2,8 мм до часу витікання через той же отвір такого ж кількості води при температурі 20° С.

Температура застигання - температура, при якій паливо перестає текти. Для суднових палив діапазон температур застигання становить від -11°C до +36°C, що пояснюється різним вмістом парафінів. Температура спалаху - це мінімальна температура при якій пари рідкого палива спалахують при піднесенні відкритого полум'я, але саме паливо не запалюється. Температурою займання називається температура, при якій після спалаху паливо спалахує з поверхні, і горіння триває не менше 5 сек. Процес горіння палива оснований на хімічній реакції сполучення кисню повітря з горючими елементами палива. Внаслідок процесу горіння створюються нові продукти, які називаються продуктами згоряння. Необхідною умовою горіння є нагрівання палива до температури загоряння.

## 1.2. Завдання 1

Написати веб калькулятор для розрахунку складу сухої та горючої маси палива та нижчої теплоти згоряння для робочої, сухої та горючої маси за заданим складом компонентів палива, що задаються у вигляді значень окремих компонентів типу:  $H^P$ , %;  $C^P$ , %;  $S^P$ , %;  $N^P$ , %;  $O^P$ , %;  $W^P$ , %;  $A^P$ , % (див. табл. 1.3.).

### 1.2.1. Контрольний приклад

Порядок розрахунку розглянемо на контрольному прикладі.

Розрахуємо склад сухої та горючої маси палива та нижчої теплоти згоряння для робочої, сухої та горючої маси за заданим складом компонентів палива:  $H^P=1,9\%$ ;  $C^P=21,1\%$ ;  $S^P=2,60\%$ ;  $N^P=0,20\%$ ;  $O^P=7,10\%$ ;  $W^P=53,0\%$ ;  $A^P=14,1$ .

Розрахуємо коефіцієнт переходу від робочої до сухої маси та коефіцієнт переходу від робочої до горючої згідно табл. 1.1:

$$K^{PC} = 100/(100 - W^P)$$

$$K^{PC} = 100/(100 - 53) = 2,13$$

$$K^{PF} = 100/(100 - W^P - A^P)$$

$$K^{PF} = 100/(100 - 53 - 14,1) = 3,04$$

$$H^C = H^P \cdot K^{PC}$$

$$H^C = 1,9 \cdot 2,13 = 4,04$$

$$C^C = 21,1 \cdot 2,13 = 44,94$$

$$S^C = 2,6 \cdot 2,13 = 5,54$$

$$N^C = 0,2 \cdot 2,13 = 0,426$$

$$O^C = 7,1 \cdot 2,13 = 15,12$$

$$A^C = 14,1 \cdot 2,13 = 30$$

**ПЕРЕВІРКА:**

$$H^C + C^C + S^C + N^C + O^C + A^C = 4,04 + 44,94 + 5,54 + 0,426 + 15,12 + 30 = 100\%$$

$$H^F = H^P \cdot K^{PF}$$

$$H^F = 1,9 \cdot 3,04 = 5,78$$

$$C^F = 21,1 \cdot 3,04 = 64,14$$

$$S^F = 2,6 \cdot 3,04 = 7,9$$

$$N^F = 0,2 \cdot 3,04 = 0,608$$

$$O^F = 7,1 \cdot 3,04 = 21,58$$

**ПЕРЕВІРКА:**

$$H^F + C^F + S^F + N^F + O^F = 5,78 + 64,14 + 7,9 + 0,608 + 21,58 = 100\%$$

Розрахуємо нижчу теплоту згорання (за формулою 1.2):

$$Q_H^P = 339C^P + 1030H^P - 108,8(O^P - S^P) - 25W^P, \text{ кДж/кг};$$

$$Q_H^P = 339 \cdot 21,1 + 1030 \cdot 1,9 - 108,8(7,1 - 2,6) - 25 \cdot 53 = 7295,3[\text{кДж/кг}] = 7,2953[\text{МДж/кг}].$$

Перерахуємо дану теплоту на суху та горючу маси за таблицею 1.2:

$$Q_H^C = (Q_i^r + 0,025W^P) \frac{100}{100 - W^P};$$

$$Q_H^C = (7,295 + 0,025 \cdot 53) \frac{100}{100 - 53} = 18,34;$$

$$Q_H^F = (Q_i^r + 0,025W^P) \frac{100}{100 - W^P - A^P};$$

$$Q_H^F = (7,295 + 0,025 \cdot 53) \frac{100}{100 - 53 - 14,1} = 26,2;$$

### 1.2.2. Результат контрольно прикладу

- Для палива з компонентним складом:  $H^P=1,9\%$ ;  $C^P=21,1\%$ ;  $S^P=2,60\%$ ;  $N^P=0,20\%$ ;  $O^P=7,10\%$ ;  $W^P=53,0\%$ ;  $A^P=14,1$ :

- 1.1. Коефіцієнт переходу від робочої до сухої маси становить: 2,13;
- 1.2. Коефіцієнт переходу від робочої до горючої маси становить: 3,04;
- 1.3. Склад сухої маси палива становитиме:  $H^C=4,04\%$ ;  $C^C=44,94\%$ ;  $S^C=5,54\%$ ;  $N^C=0,426$ ;  $O^C=15,12\%$ ,  $A^C=30\%$ ;
- 1.4. Склад горючої маси палива становитиме:  $H^r=5,78\%$ ;  $C^r=64,14\%$ ;  $S^r=7,9\%$ ;  $N^r=0,608$ ;  $O^r=21,58\%$ ;
- 1.5. Нижча теплота згоряння для робочої маси за заданим складом компонентів палива становить: 7,2953, МДж/кг;
- 1.6. Нижча теплота згоряння для сухої маси за заданим складом компонентів палива становить: 18,34, МДж/кг;
- 1.7. Нижча теплота згоряння для горючої маси за заданим складом компонентів палива становить: 26,2, МДж/кг.

### 1.3. Завдання 2

Написати мобільний калькулятор для перерахунку елементарного складу та нижчої теплоти згоряння мазуту на робочу масу для складу горючої маси мазуту, що задається наступними параметрами: вуглець, %; водень, %; кисень, %; сірка, %; нижча теплота згоряння горючої маси мазуту, МДж/кг; вологість робочої маси палива, %; зольність сухої маси, %; вміст ванадію (V), мг/кг.

#### 1.3.1. Контрольний приклад

##### Порядок розрахунку розглянемо на контрольному прикладі.

Перерахуємо елементарний склад та нижчу теплоту згоряння мазуту на робочу масу для складу горючої маси мазуту, що задано наступними параметрами: вуглець - 85,50%; водень - 11,20%; кисень - 0,80%; сірка - 2,5%; нижча теплота згоряння горючої маси мазуту - 40,40 МДж/кг; вологість робочої маси палива - 2,00%; зольність сухої маси - 0,15%; вміст ванадію – 333,3 мг/кг.

Для перерахунку складу палива на робочу масу застосовуються множники згідно з таблицею 1.1.

Тоді склад робочої маси мазуту буде наступний:

- вуглець:  $85,5 \cdot (100 - 2,0 - 0,15) / 100 = 83,66\%$ ;
- водень:  $11,2 \cdot (100 - 2,0 - 0,15) / 100 = 10,96\%$ ;
- кисень:  $0,8 \cdot (100 - 2,0 - 0,15) / 100 = 0,78\%$ ;
- сірка:  $2,5 \cdot (100 - 2,0 - 0,15) / 100 = 2,45\%$ ;
- зола:  $0,15 \cdot (100 - 2,0) / 100 = 0,15\%$ ;
- ванадій:  $333,3 \cdot (100 - 2,0) / 100 = 326,63 \text{ мг/кг}$ .

Згідно з таблицею 1.2 теплота згоряння з горючої маси  $Q_i^{daf}$  на робочу  $Q_i^r$  перераховується за формулою (МДж/кг.). Тоді:

$$Q_i^r = Q_i^{daf} \frac{100 - W^r - A^r}{100} - 0,025W^r = 40,40 \frac{100 - 2,0 - 0,147}{100} - 0,025 \cdot 2,0 = 39,48, \text{ МДж/кг}$$

### **1.3.2. Результат контрольно прикладу**

2. Для складу горючої маси мазуту, що задано наступними параметрами:  $H^F=11,20\%$ ;  $C^F=85,50\%$ ;  $S^F=2,50\%$ ;  $O^F=0,80\%$ ;  $V^F=333,3 \text{ мг/кг}$ ;  $W^F=2,00\%$ ;  $A^F=0,15$ ; та нижчою теплотою згоряння горючої маси мазуту  $Q_i^{\text{daf}} = 40,40 \text{ МДж/кг}$ :
- 2.1. Склад робочої маси мазуту становитиме:  $H^P=10,96\%$ ;  $C^P=83,66\%$ ;  $S^P=2,45\%$ ;  $O^P=0,78\%$ ,  $V^P=326,63 \text{ мг/кг}$ ;  $A^P=0,15\%$ ;
  - 2.2. Нижча теплота згоряння мазуту на робочу масу для робочої маси за заданим складом компонентів палива становить:  $39,48 \text{ МДж/кг}$ .

### **1.4. Склад і вимоги до оформлення звіту з виконання роботи**

**Звіт з виконання роботи має містити:**

1. Короткий теоретичний матеріал;
2. Опис програмної реалізації з необхідними поясненнями та скріншотами програмного коду;
3. Результати перевірки на контрольному прикладі;
4. Результати отримані у відповідності до варіанту заданих значень (табл. 1.3.)
5. Висновок.

**Таблиця 1.3. Таблиця з варіантами**

Варіант (остання цифра в студентському квитку)	Склад в процентах за масою						
	$H^P$	$C$	$S^P$	$N^P$	$O^P$	$W$	$A^P$
1	3,7	50,6	4,00	1,10	8,00	13,0	19,6
2	4,2	62,1	3,30	1,20	6,40	70	15,8
3	3,8	62,4	3,60	1,10	4,30	6,0	18,8
4	3,4	70,6	2,70	1,20	1,90	5,0	15,2
5	2,8	72,3	2,00	1,10	1,30	5,5	15,0
6	1,5	76,4	1,70	0,80	1,30	5,0	13,3
7	1,4	71,7	1,80	0,80	1,40	6,0	16,9
8	1,4	70,5	1,70	0,80	1,90	7,0	16,7
9	2,6	38,6	3,80	0,80	3,10	11,0	40,1
0	3,2	54,4	2,30	1,00	3,10	20,0	16,0

### **Література**

1. ГДК 34.02.305-2002. Викиди забруднювальних речовин у атмосферу від енергетичних установок. Методика визначення. – К., 2002.
5. Екологічний ризик: методологія оцінювання та управління: Навч. Посібник / Лисиченко Г.В., Хміль Г.А., Барбашев С.В., Забулонос Ю.Л., Тищенко Ю.Є. Київ: Наук. Думка, 2014. 328 с.