

УДК 621.

Д. Грінченко  
НУ "Львівська політехніка"

## АНАЛІЗ ВПЛИВУ КИСНЕВОГО ДУТТЯ ПРИ СПАЛЮВАННІ НИЗЬКОЯКІСНОГО ПАЛИВА НА ВИКИДИ В ДОВКІЛЛЯ

© Грінченко, 2002

Дефіцит палива та екологічні негаразди в світі викликають потребу у вирішенні згаданих проблем різними способами, один з яких пропонується тут у вигляді розробленої технології генерування електроенергії за відсутності відходів виробництва з використанням кисню для згорання палива

Deficit of fuel and ecological disaster(distress) in a world call(cause) need (requirement) for solution of evocative problems by miscellaneous ways , one of which it is offered here by the way to designed technology of generation of the electric power for want of waste products with usage thus of Oxygenium for combustion of fuel

**Вступ.** У статті розглядається лише один з варіантів аналізу кількісного складу продуктів згорання низькоякісного палива за наявності кисневого дуття. Саме кількісний склад продуктів згорання має велике значення, оскільки від значень окремих компонент суміші при такому горінні буде залежати техніко-економічна ефективність вилучення згаданих компонент.

Оскільки ми не розглядаємо можливості роботи суміші різних палив та часткових режимів навантаження, то тут приймається, що  $CO = 0.0$ , тобто  $q_3 = 0.0$  і паливо спалюється лише в технічночистому кисні, далі просто – "кисні".

Прийнято, що атмосферний азот відсутній, хоч насправді, мембранними технологіями, які тут пропонується застосувати для отримання згаданого кисню, можна досягнути чистоти його близько 95%, а решта (5%) той самий азот.

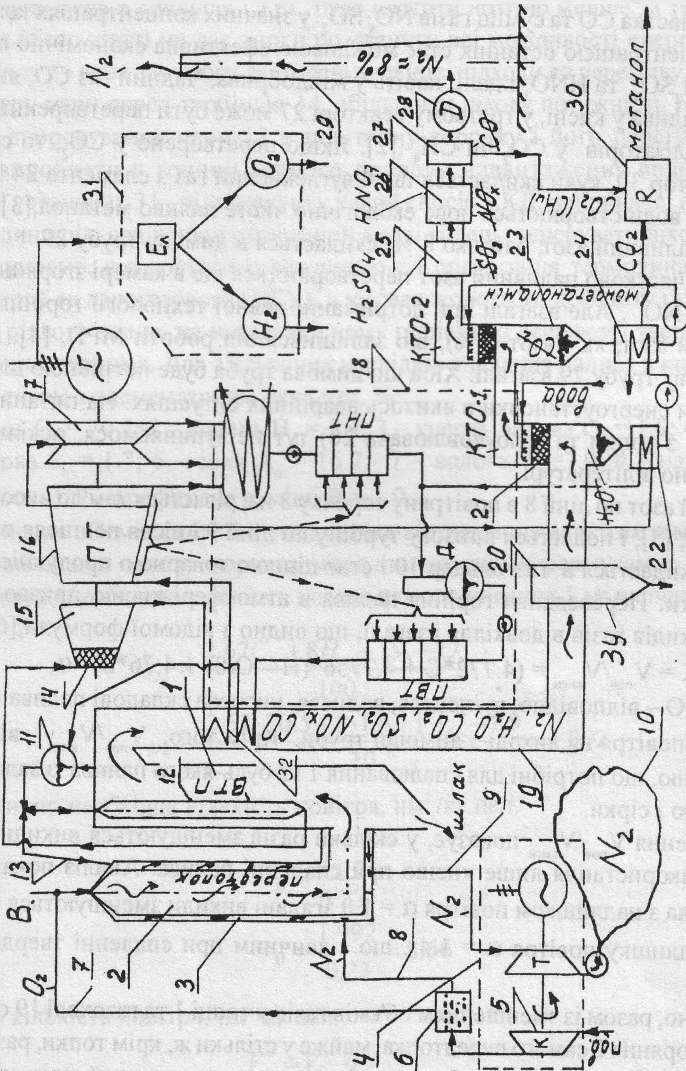
Проте це легко врахувати у наведеній нижче методиці відповідним коефіцієнтом поправки - типу  $A_{N_2} = 0.05-0.79$ .

Очевидно, що при  $A_{N_2} = 0.79$  – будь-якого розділення повітря на кисень і азот не відбувається. В цьому випадку розглядаються, очевидно, енергоустановки із звичайними робочими тілами – продуктами горіння чи повітрям.

**Опис установки.** На рисунку наведена принципова схема енергоустановки (ПГУ) із спаленням палива за допомогою кисню в спеціальному передтопку (з повітряною сорочкою [1]) та з високотемпературним перегрівом пари, отриманої в паровій частині розглядуваної комбінованої установки.

На схемі: 1 – топка основного котла, 2 – камера згорання передтопка, 3 – повітряна сорочка, 4 – блок ГТУ, 5 – мембранний розділювач повітря (МРП), 7 – лінія кисню, 8 – лінія азоту, 9 – лінія нагрітого азоту, 10 – газгольдер, 11 – барабан основного котла, 12 – високотемпературний пароперегрівник, 13 – лінія впорскування пари, 14 – високотемпературна частина парової турбіни, 15 – ЦВТ парової турбіни, 16 – ЦСТ парової турбіни, 17 – ЦНТ парової турбіни, блок регенеративної системи, 19 – газохід котла, 20 – золоуловлювач, 21 – перший контактний теплообмінник (КТО-1), 22 – водоводяний теплообмінник, 23 – другий контактний теплообмінник (КТО-2), 24 – теплообмінник, 25 – перший реактор ( $H_2SO_4$ ), 26 – другий реактор ( $HNO_3$ ), 27 – третій реактор (CO), 28 – димосос,

29 – димова труба, 30 – четвертий реактор (метанол), 31 – електролізерний блок, 32 – вторинний пароперегрівник. Примітка: перекреслені на рисунку позначки ( $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ) означають, що в цьому елементі було вилучено саме перекреслену компоненту.



Принципова схема енергоустановки із спаленням палива в атмосфері кисню

**Опис роботи.** Коротко про роботу такої енергоустановки та задачі, які реалізуються нею. Низькоякісне паливо "В" в атмосфері кисню, що отриманий в МРП 6,[2], спалюється в камері згоряння 2 передтопка і скидаються в топку 1 основного котла і далі по газоходу 19 спочатку потрапляють в золоуловлювач 20 і в перший контактний теплообмінник (KTO-1) 21, де вилучається водяна пара, нагріваючи воду зрошення від температури 17°C до температури мокрого термометра (близько 61°C), що є цілком достатньою для ефективного

її використання. Осушені гази, практично і без азоту, надходять далі в другий контактний теплообмінник (КТО-2) 23, де за допомогою зрошення моноетаноломіном сорбується вуглекислий газ і розчин моноетаноламіну з  $\text{CO}_2$  шляхом його підігріву в теплообміннику 24 вивільняє поглинутий вуглекислий газ. Нарешті залишається лише паливний азот (близько 8%), незначна частка  $\text{CO}$  та суміш газів  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$  у значних концентраціях кожний. В зв'язку із значною концентрацією останніх стає можливою ефективною економічною переробка їх на суміш кислот  $\text{H}_2\text{SO}_4$  та  $\text{HNO}_3$  і далі, навіть у міндобрива. Чадний газ  $\text{CO}$ , якщо такий буде при спаленні палива у кисні, у третьому реакторі 27 може бути перетворений за допомогою недорогих каталізаторів у  $\text{CO}_2$  чи  $\text{CH}_4$ , [2]. Якщо перетворено у  $\text{CO}_2$ , то скидається це в четвертий реактор 30, куди скидається ще й вуглекислий газ з елемента 24 і за допомогою каталізатора та води створюється нове екологічно чисте паливо метанол, [3]. Решта – це, в основному, паливний азот, близько 8%, скидається в димову трубу 29.

До речі, частково паливний азот перетворюється ще в камері згоряння передтопка 2 в окисли азоту  $\text{NO}_x$ . Але взагалі при дотриманні певної технології горіння взагалі майже увесь паливний азот, як і азот (5%), що залишився від роботи МРП, [4], можна не мати викидів у димову трубу 29 взагалі. Хіба що димова труба буде потрібною для забезпечення процесу роботи енергоустановки в якихось аварійних ситуаціях. На питанні використання золи і шлаку (з топки та золоуловлювача 20) тут не зупиняємося, оскільки це питання добре висвітлено в літературі.

Поданий азот по лінії 8 в повітряну сорочку 3 нагрівається там до високих температур 1200 – 1400 °С, [5], і подається в газову турбіну по лінії 9 і після неї після теплообмінника, не показано, скидається в газгольдер 10 і стає цінною товарною продукцією.

**Наслідки.** Переведення горіння палива в атмосфері кисню призводить до різкого зменшення викидів газів в довкілля взагалі, що видно з відомої формули, [6]:

$$K = V_{\text{пов}} / V_{\text{кисн}} = (4.772 * C + 4.7756 * (H - O/8) + 4.76 * S) * \alpha, \quad (1)$$

де  $C$ ,  $H$ ,  $S$ ,  $O$  – відповідно, вуглецева, воднева, киснева складові палива та сірка палива;  $\alpha$  – надлишок повітря на виході з димової труби. Крім того,  $V_{\text{пов}} / V_{\text{кисн}}$  – відповідно, об'єм повітря та кисню, що потрібні для спалювання 1 кг будь-якого палива із заданими частками вуглецю, водню і сірки.

Відношення  $V_{\text{пов}} / V_{\text{кисн}}$  показує, у скільки разів зменшуються викиди в довкілля при переході на використання лише кисню при спаленні палива. Аналіз показує, навіть при спаленні палива з надлишком повітря  $\alpha = 1.0$  згадані викиди зменшуються в 4.77 раза. При реальному надлишку повітря  $\alpha = 1.4$ , що є звичним при спаленні твердого палива, "К" дорівнює 6.9.

Звичайно, разом із зменшенням об'ємів газів у топці 1 та газоході 19 основного котла, як і в камері згоряння 2 самого передтопка, майже у стільки ж, крім топки, разів зменшуються і габарити цього обладнання при збереженні тих самих швидкостей газів, що були і до того, тобто зменшуються капітальні затрати в основне обладнання і в головний корпус ТЕС, здешевлюється вироблена кВт-година електроенергії. Щодо виробленої товарної продукції – кислот та міндобрив, то вони є побічними продуктами основного виробництва і тому мають бути дешевшими, ніж при виробленні їх звичним способом. Це ж стосується і нового палива – метанолу: навіть при виробленні його звичайним способом, де затрачається відповідна сировина, він є економічно вигідним. Тут сировина ( $\text{CO}_2$ ) для виготовлення є просто відходами і це ще здешевить виробництво згаданої продукції. Очевидно, є певний баланс між сумарними затратами на реалізацію без викидної технології генерування електроенергії, описаної вище і допустимою вартістю виробленої кВт-години: остання може

бути і дешевшою, і дорожчою за нині продукovanу енергію звичним способом. Але при будь-яких обставинах – різна вартість палива і його якість, потреба в чистому азоті та в кислотах і метанолі, що продукуються в енерготехнологічній установці – зменшуються викиди парникових газів в довкілля і ТЕС буде платити істотно менше за такі викиди.

Оскільки обсяг статті не дає змоги розглянути всі можливості енергоустановки, то лише згадаємо їх тут – вона дає змогу, застосовуючи нові підходи до перегріву пари, отримати вищу температуру пари перед турбіною 14, збільшити пікову потужність газової турбіни, організувавши впорскування пари 13 в повітряну сорочку і його перегріву до заданої температури, виробляти в години нічного провалу навантаження водень і кисень в електролізерній установці, 31, піднімаючи у такий спосіб ККД, наприклад, паротурбінного блока, щоб в години пік, спалюючи отриманий вночі водень, генерувати пікову потужність.

Проте думаємо, що достатньо важливою є і організація термодинамічного циклу генерування енергії як парогазового (ПГУ), в умовах жорсткого дефіциту газоподібного чи високоякісного рідкого палива, на низькоякісному порівняно дешевому твердому паливі.

**Аналітична частина.** Для з'ясування наслідків спалення палива в кисні задасмося, як приклад, паливом з елементарним складом, %:

1 – вуглець  $C_n = 70.5$ ; 2 – водень  $H_n = 1.4$ ; 3 – кисень палива  $O_2 = 1.9$ ; 4 – азот палива  $N_n = 0.8$ ; 5 – сірка  $S_n = 1.7$ ; 6 – зола  $A_n = 16.7$ ; 7 – волога  $W_n = 7.0$ ; 8 – надлишок кисню  $\alpha_T = 1.05$  (приймаємо); 9 – коефіцієнт суміші  $B = 1.0$ .

Для вияснення об'ємів газів, що утворилися від згоряння окремих компонент палива з урахуванням наведених даних, скористаємося стандартними формулами:

1. Теоретично необхідна кількість кисню для спалювання 1 кг палива, кг  $O_2$ /кг пал.

$$L_{O_2} = \frac{2.67C_n + 8H_n + 1S_n - O_n}{100}$$

$$L_{O_2} = \frac{2.67 \cdot 70.5 + 8 \cdot 1.4 + 1 \cdot 1.7 - 1.9}{10} = 1.992 \quad (2)$$

2. Теоретично необхідна кількість повітря,  $nm^3$ /кг пал.

$$V_0 = \frac{L_{O_2}}{0.23}$$

$$V_0 = \frac{1.992}{0.23} = 8.66 \quad (3)$$

3. Дійсна кількість повітря,  $nm^3$ /кг пал.

$$V_g = V_0 \cdot \alpha_T$$

$$V_g = 8.66 \cdot 1.05 = 9.09 \quad (4)$$

Вищенаведені об'єми повітря, є необхідними для спалювання палива звичайним способом. А наведені нижче розрахункові формули для визначення потреби в кисню по вазі при його надлишку  $\alpha_T^{O_2} = \alpha_T = 1.05$  (тобто 5%), кг  $O_2$ /кг пал.

Отже, після спалення кожної компоненти палива утворилося така вагова кількість компонент суміші, кг компонент /кг палива:

а) вуглекислого газу

$$L_{CO_2} = \frac{3.67 \cdot C_n \cdot B}{100}$$

$$L_{CO_2} = \frac{3.67 \cdot 70.5 \cdot 1}{100} = 2.587 \quad (5)$$

б) водяних парів

$$L_{H_2O} = \frac{9H_n + W_n}{100}$$

$$L_{H_2O} = \frac{9 \cdot 1.4 + 7}{100} = 1.96 \cdot 10^{-1} \quad (6)$$

в) сірчистого газу

$$L_{SO_2} = \frac{1 \cdot S_n \cdot B}{100}$$

$$L_{SO_2} = \frac{1 \cdot 1.7 \cdot 1}{100} = 1.7 \cdot 10^{-2} \quad (7)$$

г) азоту (палива)

$$L_{N_2} = \frac{N_n \cdot B}{100}$$

$$L_{N_2} = \frac{0.8 \cdot 1}{100} = 8.0 \cdot 10^{-3} \quad (8)$$

д) залишковий кисень

$$L_{O_2Z} = (\alpha_T - 1) \cdot L_{O_2} \cdot B$$

$$L_{O_2Z} = (1.05 - 1) \cdot 1.992 \cdot 1 = 9.96 \cdot 10^{-2} \quad (9)$$

е) сумарна кількість продуктів горіння при спалюванні палива в технічно чистому кисні, кг газів/ кг палива

$$S_L = L_{CO_2} + L_{H_2O} + L_{SO_2} + L_{N_2} + L_{O_2Z}$$

$$S_L = 2.587 + 1.96 \cdot 10^{-1} + 1.7 \cdot 10^{-2} + 8 \cdot 10^{-3} + 9.96 \cdot 10^{-2} = 2.9076 \quad (10)$$

Далі наведемо таблицю, де показано, як зростають концентрації кислото-утворюючих газів залежно від вибраного режиму роботи енергоустановки

**Вплив перетворення азоту палива  $N_n$  в  $NO_x$  на відсоток кінцевого продукту і викиди в димову трубу**

| № п/п | Компоненти    | $NO_x$ , % |       |       |       |
|-------|---------------|------------|-------|-------|-------|
|       |               | 0,0        | 25,0  | 50,0  | 75,0  |
| 1     | $SO_2 + NO_x$ | 67,46      | 75,39 | 83,33 | 91,26 |
| 2     | $N_n = N_2$   | 31,75      | 24,6  | 15,87 | 7,93  |
| 3     |               | 99,7       | 99,8  | 99,8  | 99,20 |

**Пояснення.** Окисли азоту NOX, % можуть утворюватись з паливного азоту в різній кількості - від 0.0 до 75%, що і є аргументом в таблиці (верхній рядок). В рядку 1 показано, як наростають концентрації суміші кислотоутворюючих газів, в рядку 2 подано зміну паливного азоту залежно від аргументу.

Бачимо, що бажаним є режим максимального утворення окислів азоту, що принципово відрізняється від сучасної тенденції – утворення окислів азоту необхідно подавлювати. Режиму максимального утворення окислів азоту сприяє в нашій технології генерування електроенергії майже безвідхідним способом. Як і те, що при спалюванні палива в атмосфері кисню розвиваються високі температури, які, до речі, можуть регулюватися впорскуванням пари (води) безпосередньо в камеру згоряння 2 передтопка і які (вода, пара) будуть вилучені в КТО-1, 21, що не призведе до втрат ні робочого тіла впорскування, ні теплоти випаровування в топці 1 основного котла.

### ВИСНОВКИ

1. Розроблена технологія генерування електроенергії майже безвідхідним способом – без викидів в довкілля.

2. Перехід в парогазовому циклі на спалювання палива в атмосфері технічно чистого кисню сприяє повному вилученню всіх компонент з димових газів, перетворити їх з відходів у висококліквідну товарну продукцію.

3. Розроблена технологія може бути ефективно застосована і в суто паротурбінних установках.

4. Розроблена технологія генерування електроенергії дає змогу реалізувати парогазовий цикл виключно на твердому паливі без використання високоякісних палив для живлення ГТУ парогазової установки.

5. Енергоустановка за розробленою технологією дає змогу ефективно генерувати пікову енергію.

6. З товарної продукції слід особливо відзначити, є можливість генерувати, крім електроенергії, ще й нове, екологічно чисте, паливо – метанол.

7. Розроблена технологія дає змогу вилучити з димових газів CO<sub>2</sub> і переробити його у висококліквідну товарну продукцію, а не викидати його знову в довкілля.

8. Розроблена технологія дає змогу отримувати суміш кислот та мінеральні високоякісні добрива.

9. Розроблена технологія дає змогу одержувати як побічний продукт, дешевший чистий азот для різних народногосподарських потреб у великих кількостях.

10. Розроблена технологія дає змогу отримувати з золи і шлаку якісні будматеріали.

1. Грінченко Д.М. *Проблеми створення екологічно чистої парогазової установки на паливах погіршеної якості/ Збірник наукових праць до 150-річчя "Львівської політехніки" - Львів. 1994.* 2. Хоффман Е. *Энерготехнологическое использование угля.* - М. 1983. 3. Розовский А.А., Лин Г.И., Локтев С.М. и др. *Способ получения метанола.* А.С. СРСР. № 1442514. БИ №45. Опубл. 07.12.88. 4. Грінченко Д.М., Грінченко Р.Д. *Можливості використання мембранних технологій розділення повітря в паро газових установках / "Теплоенергетичні системи та пристрої". Вісник ДУ "Львівська політехніка", №273. 1993р.* 5. Грінченко Д.Н., Кулик М.П. *Способ работы энергетической установки А.С. СССР. № 1188338. БИ №40. Опубл. 30.10.85.* 6. *Теория топочных процессов. Под ред. Г.Ф.Кнорре, И.И. Палеев.* - М.-Л. 1966.