МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет екологічної безпеки, інженерії та технологій

Кафедра хімії і хімічної технології

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач випускової кафедри

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_В.Л. Чумак

«\_\_\_\_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2020 р.

**ДИПЛОМНА РОБОТА**

**(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)**

ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТР

за спeціaльністю: 161 «Хімічні технології та інженерія»,

освітньо-професійної програми "Хімічні технології палива та вуглецевих матеріалів"

**Тема: «**Ефективність сумісного використання різних видів індустріального палива**».**

Виконавець: студент групи ХП 205М Фуревич Р.Б.

Керівник: доц., к.т.н. Кустовська А.Д. \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Консультант розділу «Охорона праці»: \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ проф. Халмурадов Б.Д.

Консультант розділу «Охорона навколишнього

середовища»: \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ доц. Дмитруха Т.І.

Нормоконтролер: \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ доц. Столярова Н.В.

КИЇВ 2020

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет екологічної безпеки, інженерії та технологій

Кафедра хімії і хімічної технології

Спeціaльність: 161 «Хімічні технології та інженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_В.Л. Чумак

“\_\_\_”\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_2020 р.

**ЗАВДАННЯ**

**на виконання дипломної роботи**

Фуревича Романа Богдановича

1.Тема дипломної роботи: «Ефективність сумісного використання різних видів індустріального палива»

затверджена Наказом ректора від 19.11.2019 року № 26871/шт.

2. Термін виконання роботи: з 14.10.2019 по 09.02.2020 р.

3. Вихідні дані до роботи: полімерні відходи».

4. Зміст пояснювальної записки: Вступ. Розділ 1. Ефективність використання палива. Розділ 2. Об’єкти і методи дослідження. Розділ 3. Ефективність сумісного спалювання природного і коксового газів. Розділ 4. Охорона навколишнього середовища. Розділ 5. Охорона праці. Висновки. Список бібліографічних посилань використаних джерел.

5. Перелік обов’язкового графічного (ілюстративного) матеріалу: рисунки, таблиці.

6. Календарний план – графік

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| №  п/п. | Завдання | Термін виконання | Відмітка  про виконання |
| 1. | Одержання теми. Пошук та аналіз літератури за темою дипломної роботи. | 14.10.19 – 28.10.19 |  |
| 2. | Опрацювання літературних джерел за методами визначення сумісного використання різних видів індустріального палива | 28.10.19 –17.11.19 |  |
| 3. | Проведення експериментального визначення характеристик природнього і коксового газів | 17.11.19 – 02.12.19 |  |
| 4. | Опрацювання одержаних експериментальних результатів. | 02.12.18 – 14.12.19 |  |
| 5. | Проведення аналізу охорони навколишнього середовища та охорони праці. | 14.12.19 – 09.01.20 |  |
| 6. | Узагальнення матеріалу, оформлення дипломної роботи, підготовка доповіді та презентації. | 09.01.20 – 10.02.20 |  |

7. Консультанти з окремих розділів

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Розділ | Консультант  (посада, П.І.Б.) | Дата, підпис | |
| Завдання видав | Завдання прийняв |
| Охорона навколишнього середовища | к.т.н., доц. Дмитруха Т. І. |  |  |
| Охорона праці | к.м.н., проф. Халмурадов Б.Д. |  |  |

Дата видачі завдання: « 14 » жовтня 2019 р.

Керівник дипломної роботи: \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ доц., к.т.н. Кустовська А.Д.

Завдання прийняв до виконання: \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Фуревич Р.Б.

**РЕФЕРАТ**

Пояснювальна записка до дипломної роботи: «Ефективність сумісного використання різних видів індустріального палива» 94 сторінки, 13 рисунків, 11 таблиць, 39 використаних джерел.

КОКСОВИЙ ГАЗ, ПРИРОДНИЙ ГАЗ, МЕТАН, ТЕПЛОТА ЗГОРАННЯ, СУМІСНЕ СПАЛЮВАННЯ, ТЕМПЕРАТУРА КИПІННЯ.

**Мета дипломної роботи:** одержання ефективного альтернативного газового палива.

**Об’єкт дослідження:** процес згорання сумішевого палива з різним співвідношенням природного і коксового газів.

**Предмет дослідження:** природний та коксовий гази.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ…………………...7

[ВСТУП 9](#_Toc31241989)

[РОЗДІЛ](#_Toc31241990) 1 [ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ПАЛИВА 12](#_Toc31241991)

[1.1. Роль палива в народному господарстві 12](#_Toc31241992)

[1.2. Традиційні і нетрадиційні енергетичні ресурси 16](#_Toc31241993)

[1.2.1. Традиційні енергетичні ресурси 16](#_Toc31241994)

[1.2.2. Нерадиційні енергетичні ресурси 18](#_Toc31241995)

[1.3. Первинні і вторинні види енергії 20](#_Toc31241997)

[1.4. Основні характеристики палив 26](#_Toc31241998)

[1.5. Природний газ – первинний енергоресурс 31](#_Toc31241999)

[1.6. Скидний енергетичний потенціал технологічних процесів 35](#_Toc31242000)

[1.6.1. Скидний потенціал металургійних підприємств 36](#_Toc31242001)

[1.6.2. Коксовий газ 38](#_Toc31242002)

[1.6.3. Доменний газ 41](#_Toc31242003)

[1.6.4. Конвертерний газ 43](#_Toc31242004)

[1.6.5. Феросплавний газ 45](#_Toc31242005)

[1.7. Особливості сумісного використання різних видів палива 46](#_Toc31242006)

[Висновки до розділу 1 47](#_Toc31242007)

[РОЗДІЛ 2](#_Toc31242008) [ОБ’ЄКТИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ 48](#_Toc31242009)

[2.1. Об’єкти дослідження 48](#_Toc31242010)

[2.2. Методи дослідження 48](#_Toc31242011)

[2.2.1. Визначення хімічного складу сумішей природного і коксового газів 48](#_Toc31242012)

[2.2.2. Визначення теплоти згоряння 49](#_Toc31242013)

[2.2.3. Розрахунок по складу газоподібного палива 49](#_Toc31242014)

[2.2.3.1. Розрахунок витрати кисню і повітря 50](#_Toc31242015)

[2.2.3.2. Розрахунок об’єму продуктів згоряння: 51](#_Toc31242016)

[2.2.4. Визначення максимальної температури горіння 51](#_Toc31242017)

[Висновки до розділу 2 58](#_Toc31242018)

[РОЗДІЛ 3](#_Toc31242019) [ЕФЕКТИВНІСТЬ СУМІСНОГО СПАЛЮВАННЯ ПРИРОДНОГО І КОКСОВОГО ГАЗІВ 59](#_Toc31242020)

[3.1. Хімічний склад сумішевих палив 59](#_Toc31242021)

[3.2. Теплотворна здатність сумішевих палив 60](#_Toc31242022)

[3.3. Максимальна температура горіння сумішевих палив 62](#_Toc31242023)

[3.4. Об’єм повітря, необхідний для спалювання сумішевих палив 63](#_Toc31242024)

[3.5. Об’єм продуктів згоряння 66](#_Toc31242025)

[Висновки до розділу 3 70](#_Toc31242026)

[РОЗДІЛ 4](#_Toc31242027) [ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА 71](#_Toc31242028)

[4.1. Вплив ТЕС на навколишнє середовище 73](#_Toc31242029)

[4.2. Вплив газових викидів на організм людини 75](#_Toc31242030)

[4.3. Погіршення видимості атмосфери та фотохімічний смог 78](#_Toc31242031)

[4.4 Висновки до розділу 4 81](#_Toc31242032)

[РОЗДІЛ](#_Toc31242033) 5 [ОХОРОНА ПРАЦІ 82](#_Toc31242034)

[5.1. Аналіз умов праці 82](#_Toc31242035)

[5.1.1. Організація робочого місця 82](#_Toc31242036)

[5.1.2. Перелік шкідливих та небезпечних виробничих чинників 83](#_Toc31242037)

[5.1.3. Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих чинників 83](#_Toc31242038)

[5.1.3.1. Мікроклімат приміщень 83](#_Toc31242039)

[5.1.3.2. Шкідливі речовини в повітрі робочої зони. 83](#_Toc31242040)

[5.1.3.3. Природне та штучне освітлення 84](#_Toc31242041)

[5.1.3.4. Електробезпека 85](#_Toc31242042)

[5.2. Розробка заходів з охорони праці. 85](#_Toc31242043)

[5.2.1. Нормалізація повітря робочої зони. 85](#_Toc31242044)

[5.3. Пожежна безпека 86](#_Toc31242045)

[5.3.1. Розрахункова частина 87](#_Toc31242046)

[5.4. Висновки по розділу «Охорона праці» 89](#_Toc31242047)

[ВИСНОВКИ 90](#_Toc31242048)

[СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 92](#_Toc31242049)

**ПEPEЛІК УМOВНИХ ПOЗНAЧEНЬ, СКOPOЧEНЬ, ТЕРМІНІВ**

ТЕС - теплові електро станції

ПЕК - паливно-енергетичний комп­лекс

ПЕР - первинні енергетичні ресурси

ВЕР - вторинні енергетичні ресурси

ГПА - [газоперекачувальні агрегат](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BA%D0%B0%D1%87%D1%83%D0%B2%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B8%D0%B9_%D0%B0%D0%B3%D1%80%D0%B5%D0%B3%D0%B0%D1%82)и

СПГ - скраплений природний газ

ГУБТ - газові утилізаційні безкомпресорні турбіни

# **ВСТУП**

**Актуальність теми:** Нестача власних запасів природного газу і нафти робить Україну вкрай залежною від імпорту первинних енергоносіїв. Тим часом, величезна кількість скидного потенціалу втрачається й забруднює атмосферу. В умовах дефіциту традиційних первинних енергоносіїв залучення до використання вторинних енергетичних ресурсів дає змогу заощадити первинні ресурси і зменшити антропогенний тиск на довкілля. Запаси придатних для використання вторинних енергоресурсів визначає скидний енергетичний потенціал технологічних процесів.

З розвитком промисловості, транспорту і механізованого сільського господарства потреба палива стрімко зростає.

Одним з найважливіших завдань будьякої держави є розвиток паливно-енергетичного комплексу, забезпечення суспільства енергетичними ресурсами. Забезпечення енергетичної безпеки України значною мірою залежить від ефективного управління паливно-енергетичним комплексом.

Очевидно, що поділ джерел енергії на традиційні і нетрадиційні є умовним і безпосередньо залежить від рівня розвитку суспільства. Потреби в енергії визначаються трьома основними чинниками: зростанням кількості населення, економічним розвитком i технологічним прогресом. На кожному етапі свого історичного розвитку суспільство в змозі використати лише ті ресурси, для споживання яких створені необхідні технічні засоби. В табл. 1.1 наведено співвідношення джерел енергії, що використовувалися на різних етапах розвитку людства.

  Сучасне індустріальне суспільство немис­лиме без таких невідновлюваних енергоджерел, як газ, нафта і вугілля. Високо розвинуті краї­ни отримують з них близько 80 % енергії. Крім того, що запаси цих енергоджерел обмежені, їхнім величезним недоліком є забруднення на­вколишнього середовища як у місцевому, так і у всепланетному масштабі. При цьому маса утво­рених газоподібних чи твердих продуктів зго­ряння, що надходять у навколишнє середовище, у кілька разів перевищує масу використаного палива.

Велика економія природних енергоресурсів може бути отримана за рахунок утилізації вторинних енергетичних ресурсів надлишкового тиску в чорній металургії та в системах газопостачання. У даний час в Україні близько ¾ всіх доменних печей працюють під тиском 0,2 МПа і більше. Сумарний вихід доменного газу при цьому тиску досягає сотень тис.м3 / ч. До останнього часу перед подачею очищеного доменного газу в заводську розподільну мережу його надлишковий тиск знижувався в спеціальних дросельних пристроях. При цьому втрачалася значна кількість потенційної енергії газу. Розрахунки показують, що при тиску газів, перевищує атмосферне на 0,09 МПа і більше, при існуючому рівні цін на паливо, економічно доцільно утилізувати цю енергію. Зокрема, спрацьовувати надлишковий тиск доменного газу на газорозширюючих станціях, обладнаних спеціальними газовими утилізаційними Безкомпресорні турбінами з генераторами для виробництва електроенергії. Значні резерви потенційної енергії надлишкового тиску мають газорозширюючі станції природного газу, на яких здійснюється його дроселювання перед подачею в розподільну мережу.

Обсяг споживання природного газу як в чорній металургії, так і в цілому по народному господарству безперервно зростає. Найбільші труднощі виникають при вирішенні питань, пов'язаних з утилізацією теплових вторинних енергетичних ресурсів промисловості, які обумовлені великою різноманітністю по температурі, режиму їх видачі, виду і фізико-хімічними властивостями їх носія та іншими факторами. Деякі з них не використовуються, оскільки немає відповідних технічних рішень та обладнання для їх утилізації (або обладнання таке дороге, що робить цей захід економічно невиправданим).

Природний газ широко використовується у промисловостіі комунальному господарстві:

* на комунально-побутові потреби як паливо (спалюється в пристроях з відводом і без виводу продуктів згоряння);
* в промисловості (котельні великих електростанцій та ін.);
* в технології деяких виробництв: доменному, мартенівському, керамічному, машинобудівному, приладобудівному, цементному та ін.;
* в багатьох процесах хімічного синтезу для отримання синтетичних волокон, полімерних матеріалів, пластичних мас, синтетичних миючих засобів, спиртів, кормів та інших продуктів;
* для виробництв рідкого метану, етану та інших газів.

Велику питому вагу в газовому балансі країни мають коксові гази, які одержують у вигляді побічного продукту при виробництві коксу. Коксовий (вугільний) газ — це горючий газ, що утворюється в процесі коксування кам'яного вугілля, тобто при нагріванні його без доступу повітря до 900—1100°С.

Коксовий газ - дуже цінний вид палива. Висока теплопродуктивність забезпечує можливість його використання в доменних та інших високотемпературних печах. Високий вміст в коксовому газі молекулярного водню (50-60%) робить його особливо цінним для застосування в доменних печах в якості відновника і сировини для отримання водню.

**РОЗДІЛ 1**

**ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ПАЛИВА**

## **1.1. Роль палива в народному господарстві**

Одним з найважливіших завдань будьякої держави є розвиток паливно-енергетичного комплексу, забезпечення суспільства енергетичними ресурсами. Забезпечення енергетичної безпеки України значною мірою залежить від ефективного управління паливно-енергетичним комплексом. З огляду на це нагальним питанням політики нашої держави є відродження паливно-енергетичного комплексу країни при формуванні нової системи ресурсного забезпечення енергетики країни з мінімізацією і диверсифікацією закордонних поставок палива. Активізація процесів забезпечення власними енергоресурсами сприяє не тільки енергобезпеці й енергоефективності країни, а й енергозбереженню та екологічній гармонізації розвитку суспільного виробництва, що обумовлює актуальність дослідження окреслених питань, проблем і перспектив відродження паливно-енергетичного комплексу України

Паливноенергетичний комплекс України складається з паливної промисловості (вугільна, нафтова і газова, торфова) та електроенергетики. У розвитку продуктивних сил України він відіграє всезростаючу роль, що пов’язано, з одного боку, із загальносвітовими тенденціями, а з іншого - з енергомісткістю народного господарства та обмеженими енергоресурсами держави. Енергетика значною мірою впливає не тільки на розвиток, а й на територіальну організацію народного господарства, насамперед промисловості. Підприємства паливно-енергетичного комплексу — основа формування багатьох елементів територіальної організації народного господарства. Так, біля об’єктів енергетики виникли потужні промислові вузли і центри (наприклад, Запоріжжя), навколо яких утворилися територіально-виробничі комплекси і промислові райони. В останні десятиліття сучасні населені пункти в Україні з’явилися та зростали фактично там, де будувалися великі гідравлічні, атомні і теплові електростанції [1, с. 96]. Значення паливно-енергетичного комплексу в Україні зростає. Постійні проблеми з енергозабезпеченням усіх сфер життєдіяльності перетворили його у важливий чинник національної безпеки. Тому паливно-енергетичний комплекс у нашій країні фактично є основою всього господарства. Проблеми й кризи в ньому миттєво позначаються майже на всіх сферах життя держави. Найбільш розвиненою галуззю паливної промисловості нашої держави є вугільна промисловість. Особливостями її розвитку і розміщення є переважна концентрація в Донбасі видобування вугілля здебільшого підземним способом, а також те, що кам’яного вугілля добувається більше, ніж бурого.

У структурі видобутку палива за його видами у перерахунку на умовне паливо на вугілля в Україні припадає близько 65,7 %. Вугільна промисловість нашої країни видобуває не лише енергетичне вугілля, яке використовується для опалювання, а й коксівне, яке необхідне для виробництва технологічного палива і в чорній металургії. Підприємства вугільної промисловості стали базою для будівництва і дальшого розвитку багатьох промислових вузлів і центрів, десятків шахтарських селищ. Крім того, саме завдяки вугільній промисловості сформувалися окремі промислові райони. Головним районом вуглевидобутку в Україні є Донбас. Вугленосні площі на Лівобережжі становлять понад 150 тис. квадратних кілометрів. Тут зосереджено близько 92 % запасів кам’яного вугілля. У Донбасі переважає енергетичне вугілля (56 %). Основні його запаси зосереджені в Луганській області. Коксівне вугілля становить 44 % від загальних запасів і залягає переважно в Донецькій області. Тут зосереджено найбільше шахт і сформувалися найпотужніші центри видобутку вугілля: Донецьк, Макіївка, Єнакієве, Торез, Красноармійськ. Донецьке вугілля використовують як енергетичне паливо на теплових електростанціях переважно в Донбасі та як сировину для виробництва коксу в Донбасі та Придніпров’ї. Львівсько-Волинський басейн — важлива паливно-енергетична база на заході країни. Площа басейну незначна, близько 10 тис. квадратних кілометрів. Тут виникли міста Нововолинськ, Соснівка та кілька шахтарських селищ. У цілому, собівартість львівсько-волинського вугілля нижча за донецьке. Його використовують переважно як енергетичне паливо на Добротвірській і Бурштинській теплових електростанціях. Крім того, вугілля басейну є важливою хімічною сировиною, оскільки придатне для одержання кам’яновугільної смоли, напівкоксу. У Дніпропетровському буровугільному басейні, де вуглевидобуток ведеться переважно відкритим способом, зосереджено близько 200 родовищ. Буре вугілля має значно меншу теплотворну здатність, ніж кам’яне, високий вміст сірки, значну зольність. Воно придатне для брикетування, напівкоксування і газифікації. Крім того, з бурого вугілля можна одержати штучний гірський віск. В основному буре вугілля використовується на місцевих електростанціях та інших підприємствах як паливо. Основними центрами буровугільної промисловості є Ватутіне на Черкащині та Олександрія в Кіровоградській області.

Нафту і природний газ використовують як високоефективне паливо і цінну сировину для хімічної промисловості. У структурі видобутку палива у перерахунку на умовне паливо на нафту припадає 7,2 %, на природний газ - 26,1 %. Основними районами нафто- і газовидобутку в Україні є Передкарпаття, Лівобережжя та причорноморський нафтогазоносний регіон. Провідне місце належить Лівобережжю. Тут, у Чернігівській, Сумській та Полтавській областях є родовища високоякісної нафти. Вони мають значну кількість супутнього природного газу, який використовується для газифікації навколишніх міст і сіл. Найбільші родовища газу зосереджені в Харківській області, серед яких особливо відоме Щебелинське. Менше п’ятої частини видобутку природного газу України зосереджено в Прикарпатті. Це Дашава і родовища Івано-Франківської області. Доволі значні родовища природного газу у Криму. Важливу роль у господарському комплексі України відіграє електроенергетика. Близько половини всього первинного палива (вугілля, нафта, газ, уран), що його має, чи одержує з інших держав Україна, а також енергія окремих річок використовується для виробництва електро- і теплоенергії. Електроенергетика - одна з найдавніших галузей господарства України. Вона забезпечує всебічний науково-технічний прогрес у всіх без винятку виробництвах, поліпшує умови праці та побуту. Розвиток електроенергетики, будівництво потужних електростанцій сприяють створенню нових промислових вузлів. Окремі галузі промисловості територіально наближені до джерел дешевої електроенергії, наприклад, кольорова металургія тощо. Електроенергію в Україні виробляють теплові, гідравлічні, гідро-акумулятивні та атомні станції. У перспективі набуде поширення використання екологічно чистої енергії Сонця і вітру.

Незважаючи на величезний природний потенціал існує багато проблем у розвитку основних галузей паливно-енергетичного комплексу. Так, українське вугілля в основному має високу собівартість. У кам’яновугільних басейнах це пов’язано з глибоким заляганням пластів та невеликою їхньою потужністю. Буре вугілля невигідно перевозити на далекі відстані, тому що воно має низьку теплотворну здатність, сипучість, підвищену вологість. Значний рівень фізичного спрацювання гірничодобувного обладнання, закриття окремих шахт, скорочення видобутку вугілля, важкі умови праці шахтарів, високий травматизм призводять до виникнення соціальної напруженості в шахтарських регіонах. Одним з провідних чинників, що обмежує розвиток енергетики в Україні, є екологічний. Викиди від роботи цієї галузі становлять близько 30 % усіх твердих часток, що надходять в атмосферу внаслідок господарської діяльності людини. За цим показником електростанції зрівнялися з підприємствами металургії і випереджають усі інші галузі промисловості. Крім того, енергетика дає до 63 % сірчаного ангідриду і понад 53 % оксидів азоту, що надходять у повітря від стаціонарних джерел забруднення. Вони є основними джерелами кислотних дощів в Україні. Оксиди вуглецю, що їх викидають електростанції в атмосферу, - головне джерело парникового ефекту на нашій планеті. В районах шахтного видобутку значні площі зайняті териконами. У Донбасі 1270 відвалів. Понад 500 з них горять, забруднюючи повітря. При добуванні бурого вугілля відкритим (кар’єрним) способом із сільського господарства вилучаються великі площі родючих земель. Негативного екологічного впливу завдає Україні і гідроенергетика. Будівництво гідровузлів на Дніпрі призвело до затоплення великих площ. Водосховища підвищили рівень навколишніх ґрунтових вод, стали причиною інтенсивного руйнування крутих берегів. Важливою для України є безпека атомних станцій. Катастрофа на Чорнобильській АЕС перетворила державу в зону екологічної біди. Забруднені такі області, як Київська, Житомирська, Рівненська, Чернігівська, Вінницька, Черкаська та ін. Потрапили радіонукліди і в Дніпро - основне джерело питної води для 35 млн. жителів країни . Вирішення екологічних проблем паливноенергетичного комплексу в наш час можливе лише з використанням сучасних технологій. Ці новітні технології нині широко використовуються під час виробництва енергії. Крім того, Україна має всі можливості використання альтернативних або нетрадиційних джерел енергії. Це, як правило, екологічно безпечні електростанції, наприклад вітрові-, геліо-, термальні.

**1.2. Традиційні і нетрадиційні енергетичні ресурси**

Енергетичні ресурси (джерела енергії) — це матеріальні об’єкти, в яких зосереджена енергія, придатна для практичного використання людиною. Нині людство користується великою кількістю різних джерел енергії, але більше 80 % її дістають із викопного палива, такого як нафта, газ і вугілля. Тому ці джерела енергії називають традиційними. Решту ж енергетичних джерел відносять до нетрадиційних.

* + 1. Традиційні енергетичні ресурси

Традиційні (не відновлювані) ресурси - це викопне па­ливо, що складається з пальних речовин, незго-ряючих залишків і вологи. Паливні копалини ха­рактеризуються спільним походженням пальної частини. Вони утворюються переважно з рослин­ної маси, але містять також певну кількість білко­вих і жирових речовин тваринного походження. Мільйони років у надрах Землі тривав процес розкладання рештків тварин і рослин, що колись переробили і зберегли сонячну енергію. У ре­зультаті утворилися такі невідновлювані джерела енергії, як нафта, вугілля, природний газ, торф, горючі сланці, запаси котрих досить обмежені.

Органічне паливо на Землі видобуваємо в твердій (торф, різні види вугілля і т.п.), рідкій (нафта) та газоподібній (природний газ) формі, що зумовлено розкладанням органічних речовин та їх джерелом. Розкладання відмерлої багатоклітинної рослинності, яке відбувається в товщі Землі в заболочених місцях, де шар води перешкоджає вільному доступу повітря, призводить до утворення темно-бурої маси торфу, в якому трапляються залишки рослин, що не розклалися (листя, стебла). В подальшому, під дією тиску, температури і мікро­організмів торф'яна маса перетворюється на буре вугілля. Продуктами наступних стадій перетво­рення бурого вугілля є кам'яне вугілля й антрацит. До твердого викопного палива належать і горючі сланці. Це мінеральні породи, просякнуті органічними речовинами.

Природним рідким паливом є нафта - суміш вуглеводнів та розчинених в ній компонентів, які перебувають у рідкому стані при нормальному атмосферному тиску та температурі. У ній міс­титься деяка кількість рідких кисневих, сірчистих і азотистих сполук. Існує декілька теорій щодо по­ходження нафти. За найпоширенішою, нафта - це продукт розпаду нижчих рослинних та тваринних організмів, що існували в морях і океанах сотні мільйонів років тому. Гинучи, вони формували відкладення на глибинах від 30 метрів до 8 кіломе­трів. За іншою теорією, розробленою в інституті геологічних наук НАН України, нафта, це продукт синтезу Гідрогену та Карбону в приповерхневих шарах Землі. Прихильники органічної теорії по­ходження видів горючих копалин притримують­ся думки, що нафта і газ є побічнимипродуктами процесу вуглеутворення. Природний газ суто га­зових родовищ складається переважно з метану (95-98 % СН4). Природний газ, як нафта і вугілля, утворився в над­рах Землі з рештків рослин і дрібних тварин.

Сучасне індустріальне суспільство немис­лиме без таких невідновлюваних енергоджерел, як газ, нафта і вугілля. Високо розвинуті краї­ни отримують з них близько 80 % енергії. Крім того, що запаси цих енергоджерел обмежені, їхнім величезним недоліком є забруднення на­вколишнього середовища як у місцевому, так і у всепланетному масштабі. При цьому маса утво­рених газоподібних чи твердих продуктів зго­ряння, що надходять у навколишнє середовище, у кілька разів перевищує масу використаного палива. Наприклад, при спалюванні природно­го газу - у 5 разів, при спалюванні вугілля - у 4 рази! Завдяки застосуванню новітніх технологій у виробництві енергії можна трохи знизити не­гативний вплив паливно-енергетичного комп­лексу (ПЕК) на навколишнє середовище. Для вироблення електроенергії у світі за останні 30 років на теплових електричних станціях (ТЕС) використано 76 млрд тонн вугілля, 3 млрд тонн мазуту, 3 трлн. м3 газу, а на АЕС - тільки 0,2 млн тонн ядерного палива. Якщо розглядати структу­ру світової витрати палива людством, то атомна енергетика посідає близько 6%, органічне паливо - близько 89%, а всі нетрадиційні джерела енер­гії - лише 2%. Спалювання органічного палива призводить до щорічного викиду 27 млрд тонн карбону (IV) оксиду (С02) в атмосферу і міль­йонів тонн оксидів Сульфуру та Нітрогену.

* + 1. Нерадиційні енергетичні ресурси

Нетрадиційні джерела та види енергетичної сировини — виробництво (видобуток) і переробка яких потребує застосування новітніх технологій та які не використовуються для виробництва традиційних видів. Це сировина рослинного походження, відходи, тверді горючі речовини, інші природні й штучні джерела та види енергетичної сировини, зокрема нафтові, газові, газоконденсатні і нафтогазоконденсатні, вичерпані, непромислового значення та техногенні родовища, важкі сорти нафти, природні бітуми, газонасичені води, газогідрати тощо.

До нетрадиційних джерел належать потоки енергії, які постійно чи періодично розповсюджуються у навколишньому середовищі (рис. 1). Переважна більшість відновлювальних джерел енергії поділяються на дві групи – пряма енергія сонячного випромінювання та її вторинні прояви у вигляді вітру, гідроенергії, теплової енергії навколишнього середовища, енергії біомаси та ін. До них належать: промениста енергія Сонця; енергія вітру; гідроенергія течій, хвиль, припливів; теплова енергія навколишнього середовища (Землі, повітря, морів та океанів); енергія мускульної сили людей та тварин; біомаса. Також, до відновлювальних джерел енергії зараховують геотермальну енергію, хоча її теплова енергія виділяється у результаті протікання хімічних реакцій і розпаду радіоактивних елементів, запаси яких є обмеженими і за своєю природою вона є невідновлювальним джерелом.

Очевидно, що поділ джерел енергії на традиційні і нетрадиційні є умовним і безпосередньо залежить від рівня розвитку суспільства. Потреби в енергії визначаються трьома основними чинниками: зростанням кількості населення, економічним розвитком i технологічним прогресом. На кожному етапі свого історичного розвитку суспільство в змозі використати лише ті ресурси, для споживання яких створені необхідні технічні засоби. В табл. 1.1 наведено співвідношення джерел енергії, що використовувалися на різних етапах розвитку людства.

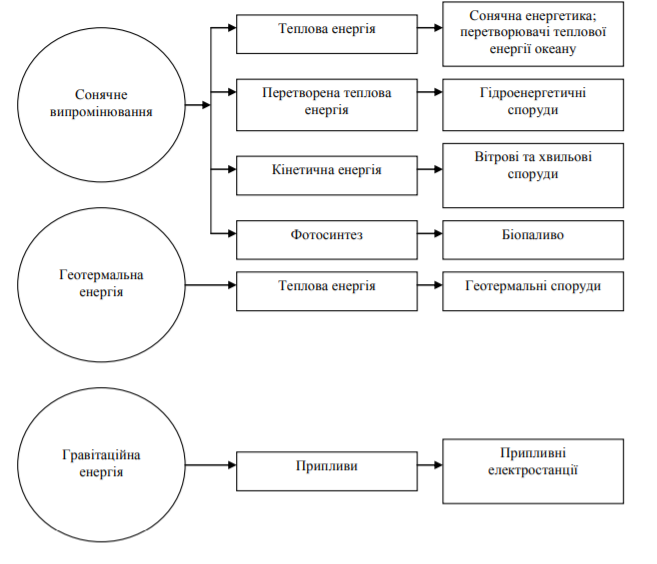


Рис.1.1. Види не традиційних джерел енергії

Аналіз даних, наведених у табл. 1.1, показує, що ті джерела енергії, які зараз ми називаємо нетрадиційними, до початку ХІХ ст. були традиційними і практично єдиними видами енергії.

Сьогодні інтерес до цих джерел знову зростає, ведуться дослідження з розробки новітніх технологій їх перетворення. Нові альтернативні технології можуть увійти у повсякденне життя вже через декілька десятків років і стати традиційними.

Таблиця 1.1

Енергетичний баланс на різних етапах розвитку людства

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Роки | Частка окремих джерел енергії, % | | | | | |
| М’язова енергія людини | Вода, вітер, сонце, біомаса та господарські відходи | Вугілля | Нафта | Природний газ | Атомна енергія |
| 500 000 до н. е. | 100 | – | – | – | – | – |
| 2000 до н. е. | 70 | 30 | – | – | – | – |
| Близько 1500 н. е. | 10 | 90 | – | – | – | – |
| 1910 | – | 32 | 65 | 3 | – | – |
| 1935 | – | 25 | 55 | 15 | 3 | – |
| 1970 | – | 15 | 32 | 34 | 18 | 1 |
| 2000 | – | 3 | 25 | 39 | 25 | 8 |

* 1. **Первинні і вторинні види енергії**

Енергетичні ресурси поділяють на первинні та вторинні. Первинні енергоресурси (ПЕР) - це природні ресурси, які не переробляли і не перетворювали: сира нафта, природний газ, вугілля, горючі сланці, вода річок і морів, гейзери, вітер тощо.

Загальні запаси енергії, на які може розраховувати людство, оцінюються первинними енергетичними ресурсами. Залучення до використання вторинних енергетичних ресурсів дає змогу заощадити первинні енергоносії і зменшити антропогенний вплив на довкілля.

Вторинні енергетичні ресурси (ВЕР) – це енергетичний потенціал продукції, побічних і проміжних продуктів, що утворюються в технологічних установках, який може бути частково або повністю використаний для енергопостачання. Раціональне їх використання є одним їх найбільших резервів економії палива, що сприяють зниженню паливоі енергоємності промислової продукції.

Вторинні енергетичні ресурси можуть бути затребувані безпосередньо без зміни виду енергоносія або зі зміною виду енергоносія шляхом вироблення тепла, електроенергії, холоду або механічної роботи в утилізаційних установках. По виду енергії вторинні енергетичні ресурси  діляться на горючі (паливні), теплові та надлишкового тиску.

Горючі ВЕР – побічні газоподібні продукти технологічних процесів, які можуть бути використані в якості енергетичного або технологічного палива.  Теплові ВЕР – фізична теплота основних і побічних продуктів, відхідних газів технологічних агрегатів, а так само систем охолодження їх елементів. ВЕР надлишкового тиску – потенційна енергія газів, що виходять з технологічних агрегатів з надлишковим тиском, яке може бути використане інших видів енергії.

Майже всі галузі народного господарства мають значну кількість паливних і теплових вторинних енергетичних ресурсів, що займають значне місце в їх паливно-енергетичному балансі.

Найбільшу кількість теплових вторинних енергоресурсів мають підприємства чорної і кольорової металургії, хімічної, нафтопереробної і нафтохімічної промисловості, промисловості будівельних матеріалів, газової промисловості, важкого машинобудування. Саме в цих галузях широко використовується теплота високого, середнього та низького потенціалів. З майже 90 % теплоти високого потенціалу (> 623 К): близько 33 % йде на плавку, 40 % - на нагрівання і близько 20% - на випал руд і мінеральної сировини. Велика частина теплоти високого потенціалу забезпечується за рахунок спалювання різних видів палива безпосередньо в технологічних установках.

Підприємства важкого, енергетичного і транспортного машинобудування України мають великий потенціал вторинних енергоресурсів у вигляді фізичної теплоти відхідних газів мартенівських, нагрівальних і термічних печей, вагранок, теплоти випарного охолодження печей, теплоти відпрацьованої пари пресів і молотів.

Мають вторинні поновлювані енергоресурси і підприємства інших галузей народного господарства. Тому одним з найважливіших завдань вдосконалення будь-якої галузі є виявлення резервів вторинних енергетичних ресурсів, економічно і екологічно обґрунтоване їх використання для цілей виробництва та задоволення потреб побутового споживання.

Поряд з підвищенням ефективності використання паливноенергетичних ресурсів, утилізація вторинних енергетичних ресурсів дозволяє знизити вплив енергопостачання й енергоспоживання на навколишнє середовище. Зокрема, зменшується викид теплових відходів та шкідливих викидів в продуктах згорання. Використання вторинних енергоресурсів є одним з істотних резервів енергозбереження.

Вихід вторинних енергоресурсів залежить від параметрів, при яких протікає процес, його режиму та від конструкції обладнання. Кожна технологічна установка характеризується певним енергетичним ККД, який показує, яка величина підведеної до процесу енергії втрачається. На практиці відбувається постійна боротьба з втратами, використовуються самі різні способи їх скорочення, в тому числі організаційно-технічні, пов'язані з наладкою технологічних процесів і режимів роботи агрегатів, поліпшенням ізоляції технологічного обладнання, трубопроводів гарячої води, і пари. Один із шляхів зниження втрат - використання можливості повернення частини втрат енергії безпосередньо в той процес, в якому вони утворюються. Численні дослідження підтверджують енергетичну та економічну ефективність регенерації та рекуперації енергії. Після цього залишаються тільки втрати, які за даною технологією при існуючому рівні розвитку техніки зменшити і уникнути не можна. Цю частину енергетичних втрат і прийнято вважати вторинними енергоресурсами, які зазвичай поділяють на горючі, теплові та надлишкового тиску.

Понад 98 % загальної кількості горючих вторинних енергетичних ресурсів хімічної промисловості припадає на азотну, фосфорну і хлорне підгалузі. Горючі відходи є на виробництвах аміаку, метанолу, ацетилену, капролактаму, каустичної соди, жовтого фосфору, карбіду кальцію. Всі названі горючі вторинні енергоресурси використовуються або можуть бути використані в якості палива, що спалюється в технологічних або енергетичних установках. Економічно це, безумовно, доцільно, так як витрати, пов'язані з організацією спалювання, наприклад горючих газів, становлять не більше 10-20 % від витрат на видобуток і транспорт первинного палива. Крім того, при їх спалюванні відбувається знешкодження викидів в атмосферу речовин від містяться в них токсичних і канцерогенних компонентів, що поліпшує екологічну обстановку в районах розташування розглянутих виробництв.

Велика економія природних енергоресурсів може бути отримана за рахунок утилізації вторинних енергетичних ресурсів надлишкового тиску в чорній металургії та в системах газопостачання. У даний час в Україні близько ¾ всіх доменних печей працюють під тиском 0,2 МПа і більше. Сумарний вихід доменного газу при цьому тиску досягає сотень тис.м3 / ч. До останнього часу перед подачею очищеного доменного газу в заводську розподільну мережу його надлишковий тиск знижувався в спеціальних дросельних пристроях. При цьому втрачалася значна кількість потенційної енергії газу. Розрахунки показують, що при тиску газів, перевищує атмосферне на 0,09 МПа і більше, при існуючому рівні цін на паливо, економічно доцільно утилізувати цю енергію. Зокрема, спрацьовувати надлишковий тиск доменного газу на газорозширюючих станціях, обладнаних спеціальними газовими утилізаційними Безкомпресорні турбінами з генераторами для виробництва електроенергії. Значні резерви потенційної енергії надлишкового тиску мають газорозширюючі станції природного газу, на яких здійснюється його дроселювання перед подачею в розподільну мережу.

Обсяг споживання природного газу як в чорній металургії, так і в цілому по народному господарству безперервно зростає. Найбільші труднощі виникають при вирішенні питань, пов'язаних з утилізацією теплових вторинних енергетичних ресурсів промисловості, які обумовлені великою різноманітністю по температурі, режиму їх видачі, виду і фізико-хімічними властивостями їх носія та іншими факторами. Деякі з них не використовуються, оскільки немає відповідних технічних рішень та обладнання для їх утилізації (або обладнання таке дороге, що робить цей захід економічно невиправданим).

Утилізація вторинних енергетичних ресурсів не тільки забезпечує економію палива, але і одночасно дозволяє вирішувати завдання підвищення продуктивності технологічних агрегатів, надійності їх роботи, уловлювання цінних сировинних компонентів, скорочення викидів шкідливих речовин в навколишнє середовища. Так, наприклад, у виробництві міді установка за відбивною піччю котла-утилізатора паропродуктивністю 20-26 т/год і тиском 4,05 МПа забезпечує річну економію палива близько 19 тис. т. у.п. При цьому додатково вловлюється близько 320 т пилу, що містить мідь, і інші цінні компоненти. Те ж саме можна сказати про системи випарного охолодження елементів шахтних, відбивних і випалювальних печей і конвертерів. Їх застосування приблизно в 50 разів скорочує потребу в технічній воді і в 2-3 рази підвищує термін служби відповідного обладнання. З урахуванням даних обставин утилізація теплових вторинних енергоресурсів в кольоровій металургії стає економічно виправданою навіть там, де раніше вважалося неефективним.

Теплові вторинні енергоресурси нафтопереробної та нафтохімічної промисловості визначаються в основному ентальпією відхідних газів установок первинної переробки нафти. У промисловості будівельних матеріалів вторинні енергоресурси утворюються при випаленні клінкеру і керамічних виробів, виробництві скла, виплавці теплоізоляційних матеріалів. Їх використання поки ще приділяється недостатня увага. При сумарному виході теплових вторинних енергетичних ресурсів, еквівалентних 1,0-1,5 сотень тисяч т у.п. в рік, їх утилізація з виробленням тепла не перевищує 15-17 %. У даний час котлами-утилізаторами обладнуються в основному великі скловарні печі на заводах листового скла.

У хімічній промисловості найбільш енергоємними є виробництва аміаку, хімічного волокна, синтетичної смоли, кальцинованої соди, фосфору, метанолу, що споживають понад 70 % електроенергії і більше половини тепла, що витрачаються всією галуззю. Вихід теплових ВЕР по галузі в цілому досить великий і складає понад 1,0 млн т у.п./рік. Теплові вторинні енергоресурси значно покривають потреби в теплі окремих виробництв. Так, в азотній промисловості, за рахунок вторинних енергоресурсів задовольняється більше 26 % потреби в теплі, в содової - більше 11 %.

У питаннях утилізації вторинних енергетичних ресурсів важливі техніко-економічні розрахунки. У даний час варіанти вирішення народногосподарських завдань насамперед повинні задовольняти умовам соціально-економічної ефективності та обов’язковому дотриманні екологічних вимог. Економія палива залежить від напрямку використання вторинних енергоресурсів і схем паливо- і енергопостачання підприємства. При їх тепловому напрямку використання економія палива визначається шляхом зіставлення кількості тепла, отриманого від використання цих енергоресурсів, з техніко-економічними показниками вироблення тієї ж кількості і тих же параметрів тепла в основних енергетичних установках. При силовому напрямку використання вторинних енергоресурсів вироблення електроенергії (або механічної енергії) зіставляється з витратами палива на вироблення електроенергії (або механічної енергії) в основних енергоустановках.

При визначенні економічної ефективності використання зіставляють варіанти енергопостачання, які задовольняють потреби даного виробництва у всіх видах енергії з урахуванням використання цих ресурсів, задовольняють ті ж потреби і без обліку використання. Основними показниками порівнянності цих варіантів служать: створення оптимальних (для кожного з варіантів) умов їх реалізації; забезпечення однакової надійності енергозбереження; досягнення необхідних санітарно-гігієнічних умов і безпеки праці; найменше забруднення навколишнього середовища. Один з основних напрямків підвищення ефективності виробництва і використання енергетичних ресурсів в промисловості - збільшення одиничної потужності агрегатів, концентрація виробництва і створення укрупнених комбінованих технологічних процесів. Особливо це ефективно для технологічних процесів з великим виходом теплових вторинних енергоресурсів, тобто для підприємств хімічної, нафтопереробної, целюлозно-паперової і металургійної промисловості. Створення великих комбінованих виробництв дозволяє використовувати вторинні енергетичні ресурси одних процесів для потреб інших, що входять в загальний комбінований комплекс. У міру збільшення витрат на видобуток палива і виробництва енергії зростає необхідність у більш повному використанні їх при перетворенні у вигляді горючих газів, тепла нагрітого повітря і води.

* 1. **Основні характеристики палив**

У народному господарстві застосовують численні види палива. Їх поділяють на природні, які безпосередньо видобуваються з надр землі, і штучні які в більшості випадків одержують переробкою природного палива. Класифікація природного і штучного твердого, рідкого і газоподібного палива наведена в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2

Класифікація природного і штучного твердого, рідкого і газоподібного палива.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Паливо | Тверде | Рідке | Газоподібне |
| Природне | * дрова, * торф, * буре вугілля, * кам'яне вугілля, * напівантрацит, антрацит, * сланці, * бітумні піски | * нафта, * газовий конденсат; * рослинні олшї | * природний газ, * нафтопромисловий газ, * шахтний газ |
| Штучне | * деревне вугілля, * торф'яний напівкокс, * буровугільний напівкокс, * кам'яновугільний напівкокс, * кокс, * термоантрацит, * брикети торф'яні та вугільні, * промислові та комунальні відходи | * бензин, * гас, * дизельне паливо, мазут, * смола, * сланцеве масло, * метанол, * етанол, * бутанол, * диметиловий етер, * біодизель | * нафтовий газ, * скраплений газ, * напівкоксовий газ, * коксовий газ, * водний газ, * генераторний газ, * доменний газ, * ваграночний газ, * водень, * гази процесів бродіння |

Цінність палива для народного господарства визначають в основному такі характеристики:

***Теплота згоряння***, або теплотворна здатність, тобто кількість тепла, що виділяється при повному згорянні 1 кг твердого та рідкого або 1 м3 газоподібного палива. Від теплоти згорання залежить витрата палива і його транспортабельність.

Вища теплота згоряння палива Q~~В~~ являє собою кількість тепла, що виділяється при повному згорянні одиниці палива з утворенням СО2, SO2 та Н2О в рідкому стані. До вищої теплоті згоряння близька теплота згоряння, що визначається при спалюванні палива в калориметричній бомбі в атмосфері кисню.

Нижча теплота згоряння палива Qн це кількість тепла, що виділяється при повному спалюванні одиниці палива з утворенням СО2, SO2 та Н2О в пароподібному стані. Крім того, під час розрахунку нижчої теплоти згорання враховується витрата тепла на випаровування вологи палива. Отже, нижча теплота згоряння відрізняється від вищої витратою тепла на випаровування вологи, що міститься в паливі і утворюється при згорянні водню.

При розрахунку різниці між вищою і нижчою теплотою згоряння враховується витрата тепла на конденсацію водяної пари і на охолодження конденсату до 0°С. Ця різниця становить близько 2500 кДж на 1 кг вологи.

У палива з малим вмістом водню і вологи відмінність між вищою і нижчою теплотою згоряння невелика, наприклад у антрацитах і коксу - всього близько 2%. Однак у палива з високим вмістом водню і вологи ця різниця стає дуже великою. Так, у природного газу, що складається в основному з СН4 і містить 25%, вища теплота згоряння перевищує нижчу на 11%.

***Теплопродуктивність*** (tmax) - максимальна температура горіння, що розвивається при повному згорянні палива в умовах, коли тепло яке виділяється повністю витрачається на нагрів продуктів згорання. Теплопродуктивність палива визначає ефективність його застосування у високотемпературних процесах.

* Вміст баласту, тобто мінеральної маси і вологи, в твердому і рідкому паливі, азоту та двоокису вуглецю в газоподібному. Баласт зменшує теплоту згоряння палива. При великому вмісті баласту помітно знижується також теплопродуктивність палива.
* Вміст шкідливих домішок, що знижує цінність палива, особливо технологічного та побутового, і обумовлює забруднення повітряного басейну.

***Вихід летючих речовин*** і коксового залишку при нагріванні твердого палива, що визначає легкість його запалювання, а також доцільність використання в технологічних процесах.

* Зручність спалювання палива і витрата енергії, звязаних з під- готуванням палива до використання.
* Ступінь складності розвідки і труднощі видобутку палива, яке визначає об’єм капіталовкладень в паливну промисловість і собівартість пального.
* Відстань родовищ палива від районів його споживання, що обумовлює об’єм капіталовкладень в засоби трапспорту і вартість перевезень пального.

Крім того для газових палив визначають такі специфічні характеристики як критична температура, критичний тиск, стисливість, теплоємність, густин, в’язкість, вологість, розчинність, число Воббе та інші.

***Критичною температурою*** називають таку температуру, вище якої при будь-якому тиску не можна сконденсувати пару (перевести в рідкий стан).

***Критичний тиск*** – це тиск, вище якого не можна випарити рідину при будь-якому підвищенні температури. Так, наприклад, критичний тиск для метану приблизно рівний 4,7 МПа, а критична температура – 82,5 °С.

***Стисливість газу*** характеризує відхилення властивостей реальних газів від законів ідеального газу. Об’єм реальних газів змінюється не пропорційно його тиску й температурі і при однакових умовах стискується більше або менше, ніж ідеальний газ на величину Z— коефіцієнт стисливості, який визначають експериментально або по номограмі залежно від приведених температури й тиску газу.

***Теплоємність газу*** - кількість тепла, необхідного для нагрівання одиниці маси або об’єму цієї речовини на 1ºС. Масова теплоємність газу вимірюється в кДж/кг а об’ємна – в кДж/м3.

***Густина газів*** істотно залежить від тиску і температури. При тиску 0,1 МПа і температурі 0 оС густина газів приблизно в 1000 раз менше густини рідини і вимірюється для вуглеводневих газів від 0,7 до 1,5 кг/м3 (в залежності від вмісту в газі легких і важких вуглеводнів).

***Вязкість газу*** — це властивість газу чинити опір при русі, яка виникає в результаті сил тертя між шарами газу, що рухається В’язкість нафтового газу при тиску 0,1 МПа і температурі 0ºС зазвичай не перевершує 0,01 мПа·с. З підвищенням тиску і температури вона трохи збільшується. Проте при тисках вище 3 МПа збільшення температури викликає пониження в’язкості газу, причому гази, що містять більш важкі вуглеводні, як правило, мають велику в’язкість.

***Вологість*** — природний газ у пластових умовах, насичений парами води, які при русі газу конденсуються, збираються в низьких місцях газопроводів, порушуючи технологічний режим транспортування газу. Взаємодія води з кислими газами сприяє інтенсивній корозії обладнання. Крім того, при певних тисках у присутності вологи в газі утворюються - кристалогідрати, які закупорюють прохідний переріз газопроводу й арматури, що може призвести до аварійної ситуації.

***Розчинність*** вуглеводневих газів в рідині при незмінній температурі визначають за формулою:

,

де S - об’єм газу, розчинений в одиниці об’єму рідини, приведений до стандартних умов;

Р – тиск газу над рідиною;

α – коефіцієнт розчинності газу в рідині, який характеризує об’єм газу (приведений до стандартних умов), розчинений в одиниці об’єму рідини при збільшенні тиску на 1 МПа;

b - показник, що характеризує ступінь відхилення розчинності реального газу від ідеального.

Значення α і b залежать від складу газу і рідини.

***Число Воббе*** – характеристика якості газу, що визначає взаємозаміну різних газів (одна із експлуатаційних характеристик). Як фізична величина визначає відношення вищої теплоти згорання палива до квадрату з його відносної густини:

Природні гази можуть спалахувати або вибухати, якщо вони змішані в певних співвідношеннях з повітрям і нагріті до температури їх займання за наявності відкритого вогню.

Мінімальний і максимальний вміст газу в газоповітряних сумішах, при яких може відбутись їх займання, називаються верхнім і нижнім межами вибуховості. Для метану ці межі складають від 5 до 15%. Ця суміш називається гримучою і тиск при вибуху досягає 0,8 МПа.

* 1. **Природний газ – первинний енергоресурс**

Природний газ – це газ, що добувається з чисто газових родовищ. Гази чисто газових родовищ (природний або сухий газ), в основному складаються з метану, вміст якого досягає 98 %. Залежно від умов залягання природні гази мають різний хімічний склад. Спільне, що характеризує гази чисто газових родовищ — високий вміст метану — від 75 до 98 % і відповідно висока теплота згоряння. Для ряду чисто газових родовищ вміст парафінів С2—С4 становить 1,5–7,0 %. Вміст важких вуглеводнів (С5 і вище) невеликий (0,02–0,20 % об.). Більшість газів містить 1–5 % об. невуглеводневих домішок: азот, діоксид вуглецю і сірководень. Крім цих домішок, природні гази газових і газоконденсатних родовищ містять у невеликих кількостях гелій, аргон, сірковуглецеві (СОS і СS2), а також сіркоорганічні (RSН) сполуки. Як правило, природні гази не містять сірководень або містять його в незначних кількостях — на рівні часток відсотка, однак гази деяких родовищ містять його в кількостях від 1,7 до майже 25 % об. Це серйозно ускладнює переробку цих газів, але дає можливість дістати цінний продукт — сірку. Співвідношення окремих компонентів природних газів різних родовищ може змінюватися в широких межах, що впливає на вибір способу їх переробки.

Природний газ створює задушливу дію на організм людини. В атмосферному повітрі населених пунктів, у повітрі робочої зони і у воді водоймищ санітарно-побутового водокористування встановлюються гранично допустимі концентрації шкідливих речовин, які затверджуються Міністерством охорони здоров’я України. Із газових компонентів природних і нафтових газів особливо токсичним є сірководень, його запах відчувається при вмісті в повітрі 0,0014-0,0023 мг/л. Сірководень — отрута, що викликає параліч органів дихання й серця. Концентрація сірководню 0,06 мг/л викликає головний біль. При концентраціях 1 мг/л і вище настають гостре отруєння і смерть

За своїми фізичними властивостями природний газ є вибухонебезпечною та горючою речовиною, яка не має кольору та запаху. Саме така комбінація характеристик зумовлює необхідність додавати до складу природного газу, який постачається кінцевим побутовим та промисловим споживачам, спеціальну речовину з особливим запахом – одорант. Завдяки йому ми в змозі відчути витік газу за межі його належного місцезнаходження. Одорант додається до складу природного газу газорозподільчими станціями на етапі його безпосередньої передачі споживачам. Однак увесь шлях від родовища до цих станцій газ проходить у неодоризованому вигляді, щоб не спричиняти корозію стін магістральних трубопроводів.

Поклади природного газу зароджуються під земною корою внаслідок розкладання різноманітних органічних речовин в умовах відсутності атмосферного кисню. За стандартних умов ці поклади існують лише у гозоподібному стані. Іноді природний газ може бути розчином у воді або нафті. Окрім цього, він зустрічається у твердому стані у вигляді сполук води та вуглеводнів, що мають вигляд кристалів.

Щодо глибини залягання покладів газу, то вона може сягати від кількох десятків метрів до кількох десятків кілометрів від земної поверхні. Переважно поклади знаходяться в гірських породах осадового та значно рідше магматичного походження.

Для видобування газу, розташованого на глибині більше 1 км., пробурюють глибокий та доволі вузький отвір у ґрунті за допомогою бурових приладів, який називають свердловиною. На ній встановлюють засувку, щоб забезпечити видобування лише потрібної кількості цієї корисної копалини. Іноді свердловина може фонтанувати: це газ під власним тиском виривається з надр землі.

У процесі свого відбору метан (основна складова природного газу) рветься зі свердловини під тиском 100 атмосфер та на шляху прихоплює масу непотрібних домішок. Окрім цього, він є мокрим, оскільки разом з ним з-під землі виходить маса води. Від усього цього паливо треба очистити. Значна частина рідини та всі механічні домішки видаляються за допомогою процесу сепарації, у результаті якого вони осідають під дією відцентрової сили на стінках спеціальних приладів. Воду, що залишилася, відокремлюють за допомогою хімічного реагенту, після чого цей реагент осушують та повертають у процес очищення газу. Таким чином щодня при видобуванні природного газу накопичуються значна маса води, яку раніше просто випарювали, однак зважаючи на те, що це економічно дуже невигідно й екологічно шкідливо, тепер її очищають і закачують назад під землю.

Сьогодні весь процес видобутку газу від кожної свердловини до його подачі в трубопровід повністю автоматизований. Остання ланка на шляху природного газу як готової продукції – це газовимірювальна станція, на якій розташований вузол комерційного обліку. За його допомогою контролюється якість та кількість метану перед його подачею в єдину газову систему країни.

До кінцевого споживача газ ще повинен прийти по трубі, подолавши тисячі кілометрів. Проте це не відбувається саме по собі. Газ необхідно час від часу підштовхувати, піднімаючи тиск. Цим займаються спеціальні газотранспортні компанії, які експлуатують систему розгалужених газопроводів.

Тиск газу в трубі, по якій він рухається, становить 75 атмосфер, але в міру просування він падає. Тому через кожні 100-200 км будують газокомпресорні станції, які підтримують тиск на всьому шляху. Тут газ спочатку очищається від прихоплених на шляху пилу й піску, а потім подається в газоперекачувальний агрегат. Метан стискають за допомогою відцентрового нагнітача. В якості двигуна для нього використовують, як правило, авіаційні турбіни. Вони розганяють газ у трубі до 20 м/с, що є швидкістю вітру при досить сильному урагані. Паливом для турбіни є газ.

Коли газ доходить до місця призначення, його потік необхідно загальмувати в потрібній точці. Для цього існують газорозподільні станції. Вони послідовно в кілька етапів знижують тиск з 75-ти до 12-ти, 5-ти та 0,005-ти атмосфер. Перед тим, як відправити газ споживачам, на газорозподільній станції в нього додають одорант (16 грам на 1 тис.куб.м.), який і надає йому «газовий» запах. Чистий метан не має запаху, а це дуже небезпечно.

Природний газ широко використовується в хімічній промисловості як сировина. Також використовується як пальне, для опалення житлових будинків, паливо для машин, електростанцій та ін. Сьогодні із понад 50 млн. тонн водню, що виробляється у світі, половина отримується шляхом конверсії водяної пари із природним газом. Використання водню, як палива, є основою водневої енергетики.

Природний газ широко використовується у промисловостіі комунальному господарстві:

* на комунально-побутові потреби як паливо (спалюється в пристроях з відводом і без виводу продуктів згоряння);
* в промисловості (котельні великих електростанцій та ін.);
* в технології деяких виробництв: доменному, мартенівському, керамічному, машинобудівному, приладобудівному, цементному та ін.;
* в багатьох процесах хімічного синтезу для отримання синтетичних волокон, полімерних матеріалів, пластичних мас, синтетичних миючих засобів, спиртів, кормів та інших продуктів;
* для виробництв рідкого метану, етану та інших газів.

У доменних печах метан згорає до вуглекислого газу, який реагуючи з коксом, утворює відновник оксид карбону (ІІ). Під час виробництва сталі мартенівським способом природний газ використовується як джерело теплоти. З цією ж метою застосовують метан і в скловарних печах.

Природний газ не лише спалюють, а й переробляють на різні цінні хімічні продукти. Він є сировиною для добування ацетилену, водню, що використовується в хімічному синтезі, наприклад аміаку. Сажа, добута з метану, використовується для виготовлення друкарської фарби, гумових виробів (як наповнювач). Застосування природного газу – це, по суті, застосування метану.

Основні методи транспортування природного газу:

* трубопровід (PPL);
* скраплений природний газ (LNG);
* переведення газової фази в рідку (GtL);
* переведення газу в продукцію (GtC)
* добування газу для виробництва електроенергії (GtW);
* стиснений природний газ (CNG);
* переведення газової фази в тверду (GtS), гідратоутворення

Наразі основним видом транспорту є трубопровідний. Газ під тиском, як правило, до 75 атмосфер (кгс/см²) рухається по трубах в поперечнику до 1420 мм. В міру просування газу по трубопроводу він втрачає енергію, переборюючи сили тертя як між газом і стінкою труби, так і між шарами газу. Тому через визначені проміжки необхідно споруджувати [компресорні станції](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D1%80%D0%B5%D1%81%D0%BE%D1%80%D0%BD%D0%B0_%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD%D1%86%D1%96%D1%8F) (КС) з [газоперекачувальними агрегатами](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BA%D0%B0%D1%87%D1%83%D0%B2%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B8%D0%B9_%D0%B0%D0%B3%D1%80%D0%B5%D0%B3%D0%B0%D1%82) (ГПА), на яких газ дотискається до розрахункового тиску. Спорудження й обслуговування трубопроводу досить дороге, однак це найдешевший спосіб транспортування газу і [нафти](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%B0%D1%84%D1%82%D0%B0). Газопроводи великого діаметра, призначені для транспортування газу на великі відстані, називаються магістральними.

Крім трубопровідного транспорту використовують спеціальні танкери — газовози. Це спеціальні кораблі, на яких газ перевозиться в стиснутому або скрапленому стані при визначених термобаричних умовах. У такий спосіб для транспортування газу цим способом необхідно простягнути газогін до берега моря, побудувати на березі газовий завод, що скраплює, порт для танкерів, і самі танкери. Такий вид транспорту вважається економічно обґрунтованим при віддаленості споживача скрапленого газу більш 3000 км.

Постачальники скрапленого природного газу (СПГ) виграють коштом економії на морських перевезеннях. За сприятливих умов ціна постачання газу танкером може бути нижче за ціну постачання по газопроводу майже на порядок. Порівняння транспортних витрат з використанням СПГ і газовозів показує, що при збільшенні відстані транспортування витрати збільшуються далеко нижчими темпами, підтверджуючи привабливість нового ринку скрапленого природного газу. Навпаки, прокладка як наземних, так і підводних трубопроводів зі зростанням відстаней збільшує собівартість традиційного природного газу набагато швидше.

* 1. **Скидний енергетичний потенціал технологічних процесів**

Скидний енергетичний потенціал технологічних процесів – це вторинні енергетичні ресурси, які можуть бути використані для виробництва електричної та теплової енергії в когенераційних установках.

Нестача власних запасів природного газу і нафти робить Україну вкрай залежною від імпорту первинних енергоносіїв. Тим часом, величезна кількість скидного потенціалу викидається й забруднює атмосферу. Це шахтний газ(~2,2 млрд. м³/рік або 3% від імпортованого Україною газу), і метан, що виділяється зі сміттєвих звалищ (~0,4 млрд. м³/рік або 0,7%), а також ряд індустріальних газових відходів: коксовий, конверторний, доменний, феросплавний гази, які виділяються й найчастіше даремно викидаються в процесі виплавки сталі.

Сьогодні українська законодавча база створює умови для розвитку технологій по використанню цього потенціалу. Зокрема Закон України «Про комбіноване виробництво теплової й електричної енергії (когенерації) та використання скидного енергопотенціалу», що дає певні преференції таким технологіям.

Сьогодні утилізація шахтного метану, газу сміттєвих звалищ, продуктів піролізу й ферментації органічних відходів, а також коксового, феросплавного, доменного й конверторного газів може приносити вигоду не тільки від економії природного газу, але й завдяки можливості продажу скорочень викидів парникових газів.

В умовах дефіциту традиційних первинних енергоносіїв залучення до використання вторинних енергетичних ресурсів дозволяє заощадити первинні ресурси і зменшити антропогенний тиск на довкілля.

Запаси придатних для використання вторинних енергоресурсів визначає скидний енергетичний потенціал технологічних процесів.

Основними напрямками залучення у енергопостачання вторинних енергоресурсів є переробка побутових відходів, використання звалищного газу та газів металургійних виробництв в когенераційних установках. Когенераційні установки дозволяють суттєво підвищити ефективність роботи енергетичних агрегатів.

* + 1. Скидний потенціал металургійних підприємств

У складі металургійного комплексу (металургійної промисловості) України – підприємства з видобутку і збагачення руд чорних і кольорових металів, нерудних матеріалів, з виробництва чавуну, сталі, прокату, труб сталевих, метизів, феросплавів, вогнетривів, коксу, з виробництва твердосплавної, вуглецевої, напівпровідникової продукції, з переробки ломів і відходів, виробництва ряду видів хімічної продукції, великий комплекс підприємств допоміжного призначення, а також науково-дослідні та проектні організації.

Частка металургії у ВВП країни становить близько 38%, у промисловому виробництві − 27,3%, експорті – 34,2%. Частка металургії в податкових платежах у всі рівні бюджетів становить 38%. Як споживач продукції та послуг суб'єктів природних монополій металургія використовує від загальнопромислового рівня 32% електроенергії, 25% природного газу, 10% нафти і нафтопродуктів, її частка у вантажних залізничних перевезеннях – 20%.

Металургія у структурі промисловості України становить 35,1%, тоді як у структурі світової промисловості − 34,3%.

В Україні існує значний науково-дослідний і конструкторський потенціал щодо металургійного виробництва – це наявність спеціалізованих наукових установ, як самостійних, так і інтегрованих у підприємства.

У результаті виробничої діяльності металургійних підприємств виділяється велика кількість вторинних палив, таких як доменний, конвертерний, коксовий і ферогаз. На рис. показані основні технологічні процеси, а також кількість газів, що виділяються на кожному етапі при виплавці 1 т сталі.

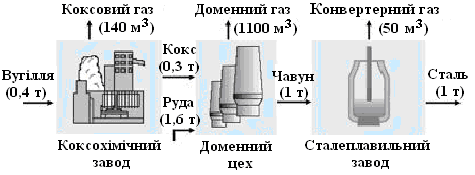


Рис.1.2. Виділення промислових газів при виплавці 1 т сталі

Калорійність цих паливних газів коливається від 3 до 20 МДж/м3, а їх склад залежить від складу сировини і параметрів технологічного процесу (табл.1.3.)

Таблиця 1.3.

Хімічний склад і енергетичні характеристики скидних газів металургійних виробництв

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Скидні гази | Склад газів, об. % | | | | | Нижча теплота згоряння,  МДж/м3 |
| Н2 | СН4 | СО | СО2 | N2+O2 |
| Коксовий | 45-62 | 25-40 | 5-15 | 2-3 | 2-5 | 18-20 |
| Доменний | 1-6 | < 0,5 | 25-35 | 10-20 | 55-60 | 3,5-4,5 |
| Конвертерний | 1-2 | < 0,5 | 75-90 | 10-15 | 1-3 | 8,5-9,5 |
| Ферогаз | 3-6 | < 0,5 | 75-90 | 5-10 | 1-2 | 8,5-9,5 |

Найбільш ефективним устаткуванням, що дозволяє повністю утилізувати дані металургійні гази, є парогазова установка. З 80-х років у Європі виробляються газопоршневі двигуни, призначені для роботи на дуже низькокалорійних газах - відходах технологічних процесів, з теплотою згоряння менш 5% від теплоти згоряння природного газу. Газопоршневі електростанції дуже ефективні з погляду перетворення хімічної енергії палива в корисну електричну енергію. Сучасні газові двигуни досягають електричного ККД більше 44%, а в когенераційному циклі з утилізацією тепла вихлопних газів сумарний ККД становить більше 90%.

* + 1. Коксовий газ

Велику питому вагу в газовому балансі країни мають коксові гази, які одержують у вигляді побічного продукту при виробництві коксу. Коксовий (вугільний) газ — це горючий газ, що утворюється в процесі коксування кам'яного вугілля, тобто при нагріванні його без доступу повітря до 900—1100°С.

При підвищенні температури сухої перегонки вугілля збільшується вихід газу і зростає вміст в ньому водню, вміст в газі метану та інших вуглеводнів зменшується, знижується теплота згоряння газу. Крім температури, на склад газу і теплоту його згоряння великий вплив чинить тривалість процесу коксування. Газ, що відбирається на початку процесу, характеризується великим вмістом вуглеводнів і більш високою теплотою згоряння, ніж газ, одержуваний в кінці процесу і відрізняється більш високим вмістом водню і зниженою теплотою згоряння. На теплоту згоряння впливає також склад ненасичених вуглеводнів, що поглинаються спільно бромною водою в процесі газового аналізу в хімічних газоаналізаторах. У коксовому газі міститься також кілька відсотків азоту, що проникає в газ з димових газів внаслідок нещільності стінок камер. Тому теплота згоряння коксового газу відповідно знижується.

Сумарні зміни в складі газу зумовлюють коливання теплоти згорання коксових газів до 25%. Теплопродуктивність газу змінюється при цьому лише до 1,5%, що дає можливість підтримувати певний температурний режим в установках які використовують паливо і визначати тепло продуктів згоряння і втрати тепла з димовими газами і внаслідок неповноти згоряння .

Коксовий газ - дуже цінний вид палива. Висока теплопродуктивність забезпечує можливість його використання в доменних та інших високотемпературних печах. Високий вміст в коксовому газі молекулярного водню (50-60%) робить його особливо цінним для застосування в доменних печах в якості відновника і сировини для отримання водню.

Після виділення з коксового газу водню методом глибокого охолодження отримують залишковий газ з вмістом близько 50% СН4 і нижчою теплотою згоряння ~ 6000 ккал/м3.

При коксуванні близько 100 млн. т кам'яного вугілля на рік і виході коксового газу близько 300 м3 на 1 т вугілля ресурси коксового газу становлять ~ 30 млрд, м3 на рік. Ця кількість коксового газу еквівалентно ~ 15 млрд, м3 природного газу. Сьогодні світове виробництво коксового газу перевищує 140-150 млрд. м3/рік. З 1 т сухої вугільної шихти одержують 140-150 кг або 340-350 м3 газу.

Крім водню, метану, оксидів вуглецю в склад коксового газу входять пари кам'яно-вугільної смоли, [бензол](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%B5%D0%BD%D0%B7%D0%BE%D0%BB), аміак, сірководень і ін. З огляду на високий вміст у прямому коксовому газі речовин, що можуть стати причиною забруднення довкілля, перед його використанням в енергетичних цілях необхідне глибоке очищення.

Парогазова суміш летких продуктів, що виділяються (до 25 % від маси вугілля), виводиться через газозбірник для вловлювання та переробки. Для розділення леткі продукти охолоджують упорскуванням розпорошеної води (від 70 °C до 80 °C) — при цьому з парової фази виділяється більша частина смол, подальше охолодження парогазової суміші проводять у кожухотрубчастих [холодильниках](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A5%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B8%D0%BA) (до 25-35 °C). [Конденсати](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%BD%D0%B4%D0%B5%D0%BD%D1%81%D0%B0%D1%82" \o "Конденсат) об’єднують і відстоюванням виділяють [підсмольну воду](http://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%9D%D0%B0%D0%B4%D1%81%D0%BC%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D0%B0&action=edit&redlink=1) і [кам’яновугільну смолу](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B0%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D1%83%D0%B3%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%81%D0%BC%D0%BE%D0%BB%D0%B0). Потім сирий коксовий газ послідовно очищують від [аміаку](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BC%D0%BC%D0%B8%D0%B0%D0%BA) і [сірководню](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B5%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B4), промивають поглинальним маслом (для вловлювання сирого [бензолу](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%B5%D0%BD%D0%B7%D0%BE%D0%BB) і фенолу), сірчаною кислотою (для вловлювання [піридинових](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B8%D1%80%D0%B8%D0%B4%D0%B8%D0%BD) основ).

У результаті очищення від смоли, води, NH3, H2S, сирого бензолу та інших домішок одержують так званий зворотний (частина його вертається на обігрів коксових печей) коксовий газ. Склад такого газу може змінюватися залежно від виду вугілля й температури карбонізації. Типові показники складу і енергетичних характеристик зворотного коксового газу наведені в табл.1.3.

Коксовий газ, як побічний продукт [коксування](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%BA%D1%81%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5), широко використовувався в дев'ятнадцятому та на початку двадцятого століття для освітлення, приготування їжі й обігріву. Розвиток виробництва газу ішов паралельно із промисловою революцією і урбанізацією. Розвивалось виробництво побічних продуктів, кам'яновугільних смол і аміаку, які були важливою сировиною для хімічної промисловості, насамперед одержання барвників. Всі види штучних барвників виготовляли з коксового газу й смоли.

Сьогодні очищений коксовий газ (14-15 % від маси вугілля) використовують у якості основного палива для промислових печей (коксових, мартенівських, доменних і ін.), комунально-побутових і інших цілей, а також як сировину для синтезу NH3.

* + 1. Доменний газ

Побічним продуктом виплавки чавуна є доменний газ. Доменний газ (колошниковий газ) – це газ, що відходить з доменних печей. Температура доменного газу на виході з печі становить звичайно 300-350°С.

Доменний газ представляє собою продукт неповного згоряння [вуглецю](http://C-Carbon.info/). Кількість доменного газу, що утворюється, становить 1000-2500 м3 на 1 т чавуну. [Приблизний хімічний](http://chemical-elements.info/" \o "Химия) склад доменного газу наведений у табл.1.3.

В процесі виплавки чавуну в домнах в результаті продування повітря через шар коксу утворюється доменний газ, за ​​складом близький до повітряного газу, що отримується в газогенераторах. Доменний газ, крім СО2, що утворюється в результаті згоряння коксу в повітрі, містить також додаткову кількість двоокису вуглецю. Додаткова поява СО2 в доменному газі обумовлено двома факторами:

1) частковим окисленням вуглецю палива не киснем повітря, а киснем руди в процесі її відновлення:

С + FеО = Fе + СО, СО + FеO = Fе + С02;

2) дисоціацією вапняку, що вводиться в доменну піч з метою зв'язування сірки і переведення її в шлак:

СаCO3 = СаO + СO2

Ще більш підвищує СO2max доменного газу вдування в піч збагаченого киснем повітря. При збагаченні дуття [киснем](http://O-Oxygen.info/) вміст [азоту](http://N-Nitrogen.info/) у газі знижується й відповідно до цього зростає кількість інших газів (у тому числі оксиду [вуглецю](http://C-Carbon.info/) і [водню)](http://H-Hydrogen.info/). Разом з тим заміна в доменному процесі коксу природним газом, здійснювана на металургійних заводах знижує СO2 доменного газу.

В результаті впливу перерахованих факторів, СO2max доменного газу відчуває значні коливання і в більшості випадків становить 24-26%.

Теплота згоряння доменних газів залежить від співвідношення горючих компонентів і баласту і визначається співвідношенням (СО + Н2)/(N5 + С02).

Тому зі збільшенням ступеня використання СО і Н2 для відновлення оксидів заліза в печі теплота згоряння газу знижується.

Доменний газ, що містить до 35 % горючих компонентів і 50-60 г/м3 пилу при роботі печі з підвищеним тиском (і 15-20 г/м3 - з нормальним тиском), повинен бути очищений від пилу перед його відправленням споживачам - на коксові батареї, на пальники доменних повітронагрівачів і ін. Концентрація пилу в очищеному газі не має перевищувати 10 мг/м3. Для очищення газу до таких низьких концентрацій пилу на металургійних заводах застосовують багатоступінчасті комбіновані схеми.

Як правило, спочатку очищення доменного газу проводять у сухих пиловловлювачах діаметром 5-8 м, у яких осаджуються часточки пилу розміром 50 мкм і більше. У цих апаратах пил уловлюється завдяки впливу сил гравітації й інерційних сил, що виникають при повороті газового потоку на 180 градусів. Пил з пиловловлювача видаляється за допомогою гвинтового конвеєра, що змочується водою. Залишковий вміст пилу в доменному газі після грубого очищення не перевищує 3-10 г/ м3.

На другій стадії очищення газу використовують системи мокрого очищення. Звичайно доменний газ із системи грубого сухого очищення надходить на напівтонке очищення газу, при якому виділяються часточки розміром 20 мкм і більше й газ очищається до залишкового вмісту пилу на виході 0,6-1,6 г/ м3. Напівтонке очищення здійснюють в апаратах мокрого типу - форсуночних порожніх скруберах і трубах Вентурі. Гази в доменних скруберах мають швидкість 1-2 м/с при питомій витраті води, що становить 3-6 кг/ м3 газу. Доменний газ, що проходить через скрубер, охолоджується з 250-300 °С до 40-50 °С й насичується вологою. Ступінь очищення газу від пилу в скрубері не перевищує 60-70 %.

Після скрубера газ у більшості випадків надходить у дві- чотири низьконапірні труби Вентурі, швидкість газів у горловині яких дорівнює 50-80 м/с при питомій витраті води 0,2 кг/м3. Тут завершується напівтонке очищення газу.

Тонке очищення доменного газу, що містить до 10 мг/ м3 пилу, здійснюють в апаратах 1-го класу. У зв'язку із широким впровадженням на заводах чорної металургії газорозширювальних станцій, що використають потенційну енергію тиску доменного газу для вироблення електроенергії в газових утилізаційних безкомпресорних турбінах (ГУБТ), для тонкого очищення газу звичайно застосовують апарати, що працюють із малою втратою тиску, наприклад, мокрий електрофільтр.

Таким чином, залежно від наявності або відсутності ГУБТ, на вітчизняних заводах звичайно застосовують дві схеми очищення доменного газу

1. доменна піч - сухий пиловловлювач - форсуночний порожній скрубер - труба Вентурі - краплевловлювач - дросельна група - краплевловлювач - чистий газ споживачеві;
2. доменна піч - сухий пиловловлювач - форсуночний порожній скрубер - труба Вентурі - краплевловлювач - мокрий електрофільтр - чистий газ на одержання електроенергії в ГУБТ.

Вибір системи очищення доменного газу залежить від необхідного ступеня його чистоти й економічних показників пилоочищення. Експлуатаційні витрати на очисні спорудження доменного цеху залежать в основному від вартості електроенергії, водопостачання й обслуговування.

У зв’язку з тим, що теплота згоряння доменного газу низька – 3,5 – 4,5 МДж/м3, у чистому вигляді він у печах майже не використовується (за винятком коксових батарей). Звичайно його застосовують на металургійних заводах у суміші з коксовим газом.

Коксодоменний газ використовують як паливо для мартенів, термічних печей тощо. У залежності від технологічних потреб питома теплота згоряння може змінюватись у межах 3,6-17 МДж/м3. Необхідна температуpa і теплота згоряння суміші досягаються змішуванням компонентів у заданій пропорції в газозмішуючих установках. Застосування такого газу дозволяє, з одного боку, скоротити шкідливі викиди в атмосферу і, з іншого боку, скоротити витрати природного газу.

* + 1. Конвертерний газ

Конвертерний газ є високоякісним технологічним і енергетичним паливом, що складається переважно з монооксиду вуглецю. Конвертерний газ - суміш газів, що утворюються при переробці чавуну в сталь у киснево-конвертерному процесі

Приблизний склад конвертерного газу наведено в табл.1.3. Такий склад газу спричиняє відносно високу теплоту його згоряння (8,5-9,2 МДж/м3). Вихід газів і їхній склад змінюються по ходу плавки.

Кількість конвертерного газу, що виходить із конвертера, становить 60-80 м3 на 1 т сталі із середнім вмістом пилу - 60 г/м3. Температуpa газів на виході з горловини конвертеру підвищується від 1250-1300 °С на початку продувки киснем до 1600-1800 °С у середині й кінці продувки. На відміну від коксового і доменного газу, конвертерний газ має високий потенціал теплової енергії.

Без очищення й охолодження газ можна використовувати для підігріву шихтових матеріалів конвертерної плавки і як відновлювач залізорудної сировини. Для використання конвертерного газу як палива або хімічної сировини він повинен бути охолоджений перед газоочисткою до 200-300 °С и відповідно очищений від пилу.

Температура конвертерного газу близька до температури металу в конвертері й становить 1400-1800 °С. Для охолодження застосовуються кілька способів:

* розведення повітрям; упорскування води;
* устаткування газоходу водоохолоджуючими камінами або екранами;
* вироблення пари в казанах-утилізаторах за рахунок фізичної теплоти конвертерних газів або продуктів їхнього згоряння.

Найчастіше ці способи комбінуються.

Очищення від пилу реалізується із застосуванням методів, що застосовуються для очистки доменного газу.

Конвертерний газ може бути використаний як паливо або сировина для хімічної промисловості. Як пальне використають газ, що містить > 60 % СО.

Гази на виході з кисневого конвертера містять енергію 0,95-1,05 МДж/т (20% фізичного тепла й 80% хімічної енергії). Використання теплоти газів дозволяє заощадити до 30 тис. т. умовного палива на 1 млн. т сталі. Таким чином, застосування конвертерного газу як палива є одним з резервів паливно-енергетичних ресурсів.

Для організації технології використання конвертерних газів як енергоносія необхідне проведення ряду технологічних заходів. Перш за все, це герметизація існуючих газовідводячих трактів для ліквідації несанкціонованих підсмоктувань повітря (газова суміш, що містить більше 12% СО, стає вибухонебезпечною при концентрації кисню більше 5 %) і установка спеціальних накопичувальних ємностей – газгольдерів для створення запасу газу й забезпечення безперебійної подачі його споживачам.

* + 1. Феросплавний газ

При виплавці феросплавів у рудовідновлювальних печах утворюється феросплавний газ (ферогаз).

Ферогаз — висококалорійний газ, що утворюється у ваннах феросплавних електропечей у результаті відновної реакцій. При виплавці феросплавів у закритих і герметичних рудовідновлювальних печах ферогаз можна використовувати як паливо. Він уловлюється, очищається від пилу й утилізується в теплоенергетичному господарстві. За складом феросплавний газ подібний до конверторного газу, тому для їх очистки і утилізації застосовують подібні заходи. У разі використання відкритих печей у зв'язку з вільним доступом повітря газ згоряє на колошнику.

Вихід і склад феросплавного газу залежить від марки виплавлюваного сплаву, складу шихти, режиму роботи печі, її потужності й т.п. Склад ферогазу по вмісту основних компонентів наведений у таблиці 1.3. Запиленість газу становить 30-40 г/м3. Крім того, в складі ферогазу присутні сірчистий ангідрид - до 0,8%, фосфорний і арсеновий ангідриди - до 0,3%. Знання хімічного складу відходів виробництва сприяє раціональному їх використанню.

Використання феросплавного газу можливе для технологічних (підігрів матеріалів, часткове попереднє відновлення сировини) і теплофікаційних цілей (спалювання у котельні). Очищний ферогаз може бути також використаний як сировина для органічного синтезу, в тому числі для виробництва синтетичного бензину.

* 1. **Особливості сумісного використання різних видів палива**

У промислових печах і котлах часто спалюють разом два види палива. Рідке паливо, здебільшого мазут, використовують для підвищення світності факела палаючого газу.

На металургійних заводах нерівномірність надходження коксового і доменного газів і споживання тепла покривають, спалюючи природний газ, мазут і вугілля.

Паливо з високою теплопродуктивністю (коксовий і природний гази, мазут) застосовують для підвищення температури горіння доменного газу та інших видів газоподібного палива з високим вмістом азоту і відповідно зниженою теплопродуктивністю.

Збільшення ресурсів зріджених газів в країні дозволяє розраховувати можливість їх застосування в деяких випадках для підвищення температури горіння генераторного газу на заводах, які мають власні газогенераторні станції і не підключені поки до газопроводів природного газу.

У багатьох випадках спільно спалюють нафтопромисловий газ і мазут, природний і нафтопромисловий газ і мазут, доменний газ і кам'яне вугілля, мазут і вугілля.

Використання токсичних горючих газів з низькою теплопродуктивністю, одержуваних в промисловій теплотехніці при виплавці чавуну в вагранках, при виробництві сажі і в інших технологічних процесах, можна значно спростити, якщо спалювати низькокалорійні гази в топках підігрівачів повітря або котлів спільно з природним газом або мазутом. При цьому поряд з використанням потенціального тепла скидних промислових газів усувається забруднення повітряного басейну міст.

При спільному спалюванні двох видів палива теплотехнічні розрахунки і випробування печей і казанів, засновані на вимірі витрати кожного виду палива, відборі середньої проби, аналізі палива і визначенні його теплоти згорання, істотно ускладнюються. У цьому випадку бажано застосовувати спрощену методику теплотехнічних розрахунків, яка не потребує замірів витрати палива і його аналізу і основану на застосуванні узагальнених констант продуктів горіння, мало мінливих для певних видів палива навіть при значних коливаннях в їх складі і теплоті згоряння. Однак при спільному спалюванні двох видів палива значення теплотехнічних величин можуть сильно коливатися. Так, наприклад, при спалюванні доменного газу та мазуту теплопродуктивність може змінюватися в залежності від співвідношення газу і мазуту від 1500 до 2100 ° С, тепловміст сухих продуктів згоряння - від 620 до 960 ккал / м3, СО2max - від 16 до 24%.

На перший погляд може здатися, що при роботі на двох видах палива використання простих методів розрахунку, заснованих на узагальненні константи продуктів згоряння, неможливо. Однак насправді розрахункову методику можна використовувати і при роботі на двох видах палива, не вдаючись до виміру їх витрати і аналізу пального і обмежуючись лише визначенням його складу. Завдяки цьому спрощуються теплотехнічні випробування і розрахунки, полегшується праця випробувачів і з'являється можливість систематично визначати ефективність використання палива і втрати тепла безпосередньо силами експлуатаційного персоналу підприємств.

## **Висновки до розділу 1**

Отже, нестача власних запасів природного газу і нафти в країні робить її вкрай залежною від імпорту первинних енергоносіїв. В умовах дефіциту традиційних первинних енергоносіїв використання вторинних енергетичних ресурсів дає змогу заощадити первинні ресурси і зменшити вплив на довкілля.

Унаслідок виробничої діяльності металургійних підприємств виділяється велика кількість вторинних палив, таких як доменний, конвертерний, коксовий і ферогаз. Використання цих газів в енергетичних цілях дозволяє заощадити традиційні первинні енергоресурси і в той же час зменшити тиск на довкілля.

# **РОЗДІЛ 2**

# **ОБ’ЄКТИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ**

* 1. **Об’єкти дослідження**

В роботі досліджувались теплоенергетичні характеристики сумішевих газових палив, що містять природний і коксовий гази в різних співвідношеннях.

Хімічний склад базових газів наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1.

Хімічний склад природного і коксового газів

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Гази | Склад газу, % | | | | | | |
| СН4 | С2Н6 | СnHm | H2 | CO | CO2 | N2 |
| Природний | 98 | 1 | - | - | - | - | 1 |
| Коксовий | 24 | - | 3 | 57 | 6 | 3 | 7 |

* 1. **Методи дослідження**

Хімічний склад і теплоенергетичні характеристики сумішей природного і коксового газів визначали розрахунковими методами із застосуванням емпіричних формул [ ].

* + 1. Визначення хімічного складу сумішей природного і коксового газів

Вміст кожного компонента сумішевого палива у об’ємних відсотках визначали за формулою:

(2.1)

де *Wп* і *Wк,* - вміст даного компоненту у природному і коксовому газах (згідно таблиці 2.1); *х* і *у* – об’ємний відсоток у суміші відповідно природного і коксового газів.

* + 1. Визначення теплоти згоряння

Теплота згоряння, або теплотворна здатність (теплотворність), палива Q – це кількість тепла, що виділяється при повному згорянні 1 моль (ккал / моль), 1 кг (ккал/кг) або 1 м3  палива (ккал/м3).

Вищу і нижчу теплоту згоряння газоподібного палива розраховували за формулами:

*QB*=126,5СО + 127,7Н2 + 398СН4 + 695,5С2Н6 + 993С3Н8 + 1286,3С4Н10 + 1579,6С5Н12 + 628,5С2Н4 + 921,8С3Нв + 1215,1С4Н8 + 1508,4С5Н10 + 1466,5CeHe4-61H2S кДж/м3;

*Q„* =126,5СО Н- 108,1Н2 + 358,2СН4 + 636,8С2Н8 + 913,4С3Н3 +

+ 1185,7С4Н10 + 1462,3С6Н12 + 590,7С2Н4 + 858,9С3Н8 + 1135,4С4Н8 +

+ 1412С5Н10 + 1403,6С6Н6 + 234,6H2S кДж/м3.

Для природних і попутних нафтопромислових газів з високим вмістом СН4, що включають, крім метану, його гомологи, а також вуглекислий газ, сірководень і азот, нижчу теплоту згоряння можна підрахувати за формулою з округленими коефіцієнтами:

Qh=358,6CH4 + 628,5С2Не + 921C3H8 -г 1173,2С4Н10 + 1466,5С5Н12 + 251,4H2S кДж/м3

* + 1. Розрахунок по складу газоподібного палива

Елементарний аналіз дозволяє встановити тільки відношення вуглеводню, сірки, водню і кисню в горючій масі і не дає достатньо інформації для судження про природу хімічних з’єднань, які входять в склад палива.

При теплотехнічній оцінці твердого і рідкого палива приходиться обмежуватись даними технічного і рідкого аналізу, так як більш глибоке вивчення природи палива і його компонентів зв’язано з великими трудностями. На відміну від цього, при визначенні складу газоподібного палива представляється можливість, не вдаючись до елементарного аналізу газу, встановити вміст в ньому певних хімічних з’єднань: окису вуглецю, водню, метану та інших граничних і неграничних вуглеводнів, кисню, двуокису вуглецю та ін. Таким чином, газовий в порівнянні з елементарним аналізом, дозволяє більш повно оцінити склад газу. Так, наприклад, елементарний аналіз не дозволяє встановити різницю між CO2  і сумішшю, яка складається з CO і 0,5 О2, а газовим аналізом. На відміну від твердого і рідкого палива, склад газоподібного палива фіксується в процентах по об’єму, при чому визначають не елементарний, а компонентний склад газу:

H2 + CO + CH4 + C2H6 + C3H8 + C4H10 + C5H12 + CnHm + H2S + CO2 + O2 + N2 = 100%

### 2.2.3.1. Розрахунок витрати кисню і повітря

Об’єм кисню необхідного для згоряння газоподібного палива і продуктів згорання які утворились, розраховують на основі рівняння горіння компонентів, які входять в склад газоподібного палива:

Окис вуглецю СО + 0,5О2 + 1,88N2 = CO2 + 1,88N2

Водень H2 + 0,5O2 + 1,88N2 = H2O + 1,88N2

Граничні вуглеводні

метан CH4 + 2O2 + 7,52N2 = CO2 + 2H2O + 7,52N2

етан C2H6 + 3,5O2 + 13,16N2 = 2CO2 + 3H2O + 13,16N2

пропан C3H8 + 5O2 + 18,8N2 = 3CO2 + 4H2O + 18,8N2

бутан C4H10 + 6,5O2 + 24,44N2 = 4CO2 + 5H2O + 24,44N2

пентан C5H12 + 8O2 + 30,08N2 = 5CO2 + 6H2O + 30,08N2

Неграничні вуглеводні

Етилен C2H4 + 3O2 + 11,28N2 = 2CO2 + 2H2O + 11,28N2

Пропилен C3H6 + 4,5O2 + 16,92N2 = 3CO2 + 3H2O + 16,92N2

Сірководень H2S + 1,5O2 + 5,64N2 = SO2 + H2O + 5,64N2

* + - 1. Розрахунок об’єму продуктів згоряння:

м3/м3 газу,

або

м3/м3 газу

або об’єм продуктів згорання:

м3/м3 газу

або

м3/м3 газу

де

м3/м3 газу

Запропоновано також рахувати по формулі:

м3/м3 газу

м3/м3 газу

м3/м3 газу

м3/м3 газу

* + 1. Визначення максимальної температури горіння

Максимальна температура горіння палива tmax прямо пропорційна його теплоті згоряння і обернено пропорційна витраті тепла на нагрівання продуктів згоряння до температури tmax тобто обернено пропорційна обсягу продуктів згоряння на їх середньозважену теплоємність від 0 до tmax.

Відповідно до цього теплопродуктивність палива tmax можна розрахувати за формулою:

(2.2)

де - нижча теплота згоряння, ккал/кг твердого та рідкого палива або ккал/м3 газоподібного; – об’єм продуктів повного згоряння палива в теоретично необхідному для горіння об’ємі повітря, м3/кг твердого та рідкого палива або м3/м3 газоподібного палива; CO-t - середньозважена об'ємна теплоємність продуктів згоряння при постійному тиску в інтервалі температур від 0 до tmax, кДж/(м3 \*°С).

Продукти повного згоряння палива в теоретично необхідному, для горіння об’ємі повітря складаються з двоокису вуглецю, сірчистого газу, водяної пари і азоту.

Отже, максимальна температура горіння палива:

°С (2.3)

де , , і - відповідно об’єми двоокису кисню, сірчистого газу, водяної пари і азоту, м3/кг твердого та рідкого палива або м3/м3 газоподібного палива; , , і - середні об'ємні теплоємності перерахованих газів, кДж/(м3\*°С) в температурному інтервалі від 0 до tmax (табл.. 2.2).

У більшості випадків об’єм SO2 незначний у порівнянні з об’ємами інших газів. Тому їх підраховують окремо і в формулу вводять сумарний об’єм СО2 і SO2, що позначається RO2. Тоді формула для підрахунку tmax набуває такого вигляду:

°С (2.3)

Таблиця 2.2

Середня об’ємна теплоємність газів від 0 до t

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| оt,оС | Теплоємність кДж/( м3·оС) | | | | | | | | | |
| CO2 | H2O | N2 | O2 | Повітря | CO | H2 | CH4 | C2H8 | C2H4 |
| 0  100  200  300  400  500  600  700  800  900  1000  1100  1200 | |  | | --- | | 1,601 | | 1,702 | | 1,789 | | 1,864 | | 1,931 | | 1,990 | | 2,043 | | 2,090 | | 2,133 | | 2,171 | | 2,205 | | 2,237 | | 2,266 | | |  | | --- | | 1,495 | | 1,506 | | 1,523 | | 1,544 | | 1,567 | | 1,591 | | 1,616 | | 1,642 | | 1,669 | | 1,697 | | 1,724 | | 1,751 | | 1,778 | | |  | | --- | | 1,296 | | 1,297 | | 1,301 | | 1,308 | | 1,326 | | 1,329 | | 1,341 | | 1,355 | | 1,368 | | 1,381 | | 1,393 | | 1,404 | | 1,415 | | |  | | --- | | 1,307 | | 1,319 | | 1,336 | | 1,357 | | 1,379 | | 1,399 | | 1,418 | | 1,435 | | 1,451 | | 1,466 | | 1,479 | | 1,490 | | 1,502 | | |  | | --- | | 1,298 | | 1,301 | | 1,308 | | 1,318 | | 1,330 | | 1,344 | | 1,358 | | 1,372 | | 1,385 | | 1,399 | | 1,411 | | 1,423 | | 1,434 | | |  | | --- | | 1,300 | | 1,303 | | 1,308 | | 1,318 | | 1,330 | | 1,344 | | 1,358 | | 1,373 | | 1,387 | | 1,401 | | 1,414 | | 1,426 | | 1,437 | | |  | | --- | | 1,278 | | 1,292 | | 1,298 | | 1,300 | | 1,303 | | 1,306 | | 1,309 | | 1,313 | | 1,318 | | 1,324 | | 1,330 | | 1,337 | | 1,344 | | |  | | --- | | 1,551 | | 1,643 | | 1,760 | | 1,888 | | 2,017 | | 2,142 | | 2,263 | | 2,379 | | 1,658 | | 2,605 | | 2,701 | | 2,788 | | 2,865 | | |  | | --- | | 2,211 | | 2,497 | | 2,777 | | 3,048 | | 3,185 | | 3,555 | | 3,781 | | 3,989 | | 4,184 | | 4,365 | | 4,533 | | 4,687 | | 4,829 | | |  | | --- | | 1,828 | | 2,064 | | 2,284 | | 2,497 | | 2,688 | | 2,866 | | 3,028 | | 3,172 | | 3,311 | | 3,434 | | 3,550 | | 3,658 | | 3,758 | |

Таблиця 2.2 (продовження)

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| оt,оС | Теплоємність ккал/( м3·оС) | | | | | | |
| CO2 | H2O | N2 | O2 | Повітря | CO | H2 |
| 1300  1400  1500  1600  1700  1800  1900  2000  2100  2200  2300  2400  2500 | |  | | --- | | 2,292 | | 2,315 | | 2,337 | | 2,357 | | 2,376 | | 2,393 | | 2,409 | | 2,424 | | 2,438 | | 2,450 | | 2,462 | | 2,473 | | 2,483 | | |  | | --- | | 1,804 | | 1,829 | | 1,854 | | 1,878 | | 1,901 | | 1,923 | | 1,944 | | 1,964 | | 1,984 | | 2,002 | | 2,020 | | 2,038 | | 2,054 | | |  | | --- | | 1,426 | | 1,436 | | 1,445 | | 1,454 | | 1,462 | | 1,470 | | 1,477 | | 1,484 | | 1,490 | | 1,496 | | 1,502 | | 1,508 | | 1,513 | | |  | | --- | | 1,512 | | 1,521 | | 1,531 | | 1,539 | | 1,547 | | 1,555 | | 1,563 | | 1,570 | | 1,577 | | 1,584 | | 1,591 | | 1,598 | | 1,604 | | |  | | --- | | 1,444 | | 1,454 | | 1,463 | | 1,472 | | 1,480 | | 1,488 | | 1,495 | | 1,502 | | 1,508 | | 1,515 | | 1,521 | | 1,526 | | 1,531 | | |  | | --- | | 1,448 | | 1,458 | | 1,467 | | 1,476 | | 1,484 | | 1,491 | | 1,498 | | 1,505 | | 1,511 | | 1,517 | | 1,523 | | 1,528 | | 1,533 | | |  | | --- | | 1,352 | | 1,360 | | 1,368 | | 1,376 | | 1,384 | | 1,393 | | 1,401 | | 1,409 | | 1,415 | | 1,424 | | 1,431 | | 1,438 | | 1,446 | |

При цьому теплоємність RO2 звичайно приймають рівною теплоємності СО2.

Похибка, що допускається при цьому, невеліка внаслідок малої різниці в об'ємній теплоємності СО2 і SO2 і незначного в більшості випадків об’єму SO2 в порівнянні з об’ємом СО2

Максимальну температуру горіння палива можна підрахувати трьома методами:

1. *Визначення по теплоті згоряння палива і теплоємності продуктів згоряння*. При підрахунку за першим методом теплопродуктивність палива визначають за формулою:

(2.4)

причому значення теплоємності двоокису вуглецю , водяної пари і азоту представлені у вигляді функції температури і мають досить складний вид, наприклад:

(2.5)

При виконанні теплотехнічних розрахунків зазвичай користуються не формулою, а табульованими значеннями теплоємності компонентів продуктів згоряння від 0 до t і теплопродуктивність підраховують за методом послідовних наближень, визначаючи кожен раз середньозважену теплоємність продуктів згоряння того чи іншого складу.

2. *Визначення за методом послідовних наближень*. Цей метод заснований на тому, що підрахунок ведуть, задаючись певною температурою продуктів згоряння (2100°С при малому вмісті в паливі баласту, що переходить в продукти згоряння, і більш низькою температурою при високому вмісті баласту), а потім обчислюють середньозважену теплоємність продуктів згоряння від 0 до t1.

Потім підраховують, якою теплотою згоряння має володіти паливо, якщо продукти його згоряння нагріті до температури:

(2.6)

Якщо підрахована таким шляхом теплота згоряння палива нижче дійсної теплоти згорання , то задаються температурою t2, яка на 100 градусів вище, ніж t1, і аналогічним шляхом визначають значення Q2. Якщо ж підрахована теплота згоряння Q1 вище дійсної теплоти згорання палива , то задаються температурою t2, яка на 100 градусів нижча, ніж t1, і визначають значення Q2 при цій температурі. Після підрахунку величин Q1 і Q2, між якими знаходиться справжня теплота згоряння палива , визначають теплопродуктивність палива методом інтерполяції.

Вказану інтерполяцію можна зробити також графічним методом. Для цього в довільному масштабі на осі абсцис відкладають значення температур t1 і t2, а на осі ординат - відповідні зазначеним температур теплоти згорання палива Q1 і Q2. Точки t1, Q1 і t2, Q2 з'єднують прямою.

Потім значення tmax визначають як абсциссу точки на прямій, ордината якої дорівнює QH (рис.2.1).

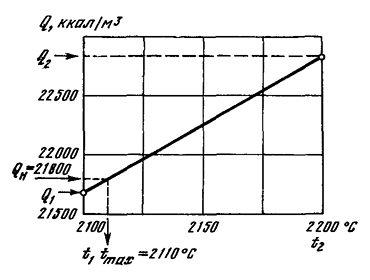


Рис. 2.1. Графічний метод лінійної інтерполяції

Підрахунок за другим методом значно простіше, ніж за першим. Тому максимальну температуру горіння палива зазвичай визначають, користуючись методом послідовних наближень.

Звісно ж, проте, можливим в ряді випадків ще більше спростити методику підрахунку і, зокрема, відмовитися від підрахунку середньозваженої теплоємності продуктів згоряння при температурах t1 і t2.

3. *Спрощений метод визначення максимальної температури горіння палива.* Метод заснований на можливості з достатньою для технічних підрахунків точністю безпосередньо користуватися значеннями середньозваженої теплоємності продуктів згоряння від 0 до tmax.

Відповідно до цього максимальну температуру горіння палива можна підрахувати за формулою (2.4), підставляючи в знаменник значення середньої теплоємності продуктів згоряння від 0 до tmax, дорівнює ,

1,676 кДж/(м3\*°С): для газоподібного палива; 1,680 кДж/(м3\*°С) для рідкого палива і 1,697 кДж/(м3\*°С) для твердого палива. Відповідно до цього формула для спрощеного підрахунку максимальної температури горіння газоподібного палива набуває такого вигляду:

(2.7)

де - сумарний обсяг продуктів повного згоряння без надлишку повітря, м3/м3 газу.

Аналогічні формули для підрахунку максимальної температури горіння рідкого палива: (2.8)

і твердого (2.9)

У формулах (2.8) і (2.9) - сумарний обсяг продуктів, повного згоряння без надлишку повітря, м3/м3 палива.

## **Висновки до розділу 2**

У цьому розділі було розглянуто хімічний склад і теплоенергетичні характеристики сумішей природного і коксового газів які визначали розрахунковими методами із застосуванням емпіричних формул.

Також у розділі визначались теплоенергетичні характеристики сумішевих газових палив, що містять природний і коксовий гази в різних співвідношеннях. Було розраховано теплоту згорання, максимальну температуру горіння та розхід повітря.

**РОЗДІЛ 3**

**ЕФЕКТИВНІСТЬ СУМІСНОГО СПАЛЮВАННЯ ПРИРОДНОГО І КОКСОВОГО ГАЗІВ**

* 1. **Хімічний склад сумішевих палив**

Хімічний склад сумішевого палива у об’ємних відсотках визначали за формулою:

де *Wп* і *Wк,* - вміст даного компоненту у природному і коксовому газах (згідно таблиці 2.1); *х* і *у* – об’ємний відсоток у суміші відповідно природного і коксового газів.

Результати розрахунків наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1.

Хімічний склад сумішевих палив

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Склад палива, % об’єм. | | Хімічний склад газу, % об’єм. | | | | | | |
| Природний газ | Коксовий газ | CH4 | C2H6 | CnHm | H2 | CO | CO2 | N2 |
| 100  67  50  40  33  25  20  0 | 0  33  50  60  67  75  80  100 | 98  73  61  54  49  43  39  24 | 1  1  0,5  0,5  -  -  -  - | -  1  1,5  2  2  2  2  3 | -  19  28,5  34  38  43  46  57 | -  2  3  4  4  5  5  6 | -  1  1,5  1,5  2  2  2  3 | 1  3  4  4  5  5  6  7 |

Як видно з даних, наведених в таблиці 3.1. , зі збільшенням у паливній суміші вмісту коксового газу її хімічний склад суттєво змінюється. Так чистий природний газ на 98% складається з метану з невеликою домішкою етану (близько 1%). Вміст баласту (у вигляді азоту) в природному газі незначний він не перевищує одного відсотку.

На відміну від природного газу близько 60% коксового газу – складається з водню. Коксовий газ у порівнянні з природним газом містить у чотири рази менше метану і не містить етану, але в ньому присутні важчі вуглеводні (С3-С4) в концентрації біля 3% (об’єм.). Коксовий газ також містить 6% монооксиду вуглецю – продукту неповного згоряння вуглеволнів в процесі коксування. Баласт в коксовому газі складає 10% і представлений диоксидом вуглецю (3%) і азотом (6%).

Таким чином з підвищенням вмісту в паливній суміші коксового газу суміш збагачується воднем і монооксидом вуглецю за рахунок зменшення концентрації вуглеводнів. Також відбувається підвищення вмісту баласту з 1 до 10% при повному заміщенні природного газу коксовим.

Очевидно, що така зміна хімічного складу має призвести до зміни теплоенергетичних і екологічних характеристик сумішевого палива. Відповідні розрахунки наведено нижче.

* 1. **Теплотворна здатність сумішевих палив**

В роботі було проведено розрахунок теплотворної здатності палив віднесеної до одного м3 сумішевого газу і до одного м3 продуктів згоряння.

Зважаючи на хімічний склад сумішевих палив ( таблиця 3.1) теплотворна здатність (кДж/м3) кожної суміші розраховували за формулою:

*Qн = 126,5W(CO) + 127,7W(H2) + 397,7W(CH4) + 695W(C2H6) + 138,8W(CnHm)*

де W — об’ємні частки газоподібних речовин, %.

Результати розрахунків наведені в таблиці 3.2. та на рисунку 3.1.

Таблиця 3.2.

Теплоенергетичні характеристики сумішевих палив

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Склад палива, % | | Нижча теплотворна здатність, МДж/м3 | Максимальна температура горіння при вмісті в повітрі 1% H2O (мас.), оС |
| Природний газ | Коксовий газ |
|
| 100  67  50  40  33  25  20  0 | 0  33  50  60  67  75  80  100 | 35,62  29,54  26,61  24,72  23,67  22,21  21,16  17,60 | 2010  2020  2030  2040  2050  2060  2070  2090 |

Рис. 3.1. Залежність теплотворної здатності від вмісту коксового газу в природному газі.

Як бачимо з даних, наведених на даному графіку (рис. 3.1.), зі збільшенням у паливній суміші вмісту коксового газу від 0 до 100% її теплотворна здатність знижується приблизно в двічі, а отже знижується енергоефективнісь палива. Це означає, що для одержання певної кількості енергії треба витратити більший об’єм сумішевого палива ніж природного газу.

* 1. **Максимальна температура горіння сумішевих палив**

Максимальну температуру горіння (оС) сумішевих палив розраховували за спрощеною формулою:

де *Qн* – нижча теплота згоряння, кДж/м3 палива; 0,4 – значення середньої теплоємності продуктів згоряння від 0 до tmax, кДж/м3·оС; *V∑в* - об єм вологих продуктів згоряння, м3/м3 палива.

Результати розрахунків наведені в таблиці 3.2. та на рисунку 3.2.

Рис. 3.2. Залежність максимальної температури горіння палива від вмісту коксового газу в природному газі.

На графіку (рис. 3.2.) можна побачити, що чим більший вміст коксового газу в природному газі тим вища максимальна температура горіння палива. Для високотемпературних процесів доцільно використовувати палива з високими температурами горіння. Змінюючи вміст коксового і природнго газу в паливі від 0 до 100% можна підвищувати максимальну температуру горіння суміші від 2010оС (чистий природний газ) до 2090оС (чистий коксовий газ) і вище, в залежності від хімічного складу коксового газу.

Однак підвищення максимальної температури горіння може сприяти утворенню оксидів азоту. Окислення молекулярного азоту повітря – процес сильно ендотермічний, що протікає лише за високих температур. Таким чином, підвищення температури горіння моде негативно впливати на довкілля.

* 1. **Об’єм повітря, необхідний для спалювання сумішевих палив**

Відповідно до рівнянь реакцій, наведених в розділі 2.2.3, об’єм повітря для спалювання 1 м3 сумішевих палив розраховували з використанням формули:

*V(O2) = 0,01(0,5W(CO) + 0,5W(H2) + 2W(CH4) + 3,5W(C2H6) + 5,75W(CnHm))*

де W(х) — відповідні об’ємні частки компонентів газоподібного палива, %.

Тоді об’єм повітря, витраченого на спалювання, дорівнює, м3/м3:

Результати розрахунків наведені в таблиці 3.3. та на рисунку 3.3.

Витрати кисню і повітря на спалювання палива є важливими екологічними характеристиками, що визначають якість палива. Чим менші витрати повітря на спалювання палива, тим кращі його екологічні показники.

Таблиця 3.3.

Екологічні характеристики сумішевих палив

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Склад палива, % | | Теоретичний об’єм газу, | | | | | |
| Природний газ | Коксовий газ | Повітря | | Прдукти згорання | | | |
| м3/м3 | Приведений.  м3/100МДж | Сухі | | Вологі | |
| м3/м3 | Приведений.  м3/100МДж | м3/м3 | Приведений.  м3/100МДж |
| 100  67  50  40  33  25  20  0 | 0  33  50  60  67  75  80  100 | 9,5  7,7  6,9  6,3  6,0  5,5  5,3  4,3 | |  | | --- | | 26,67 | | 26,07 | | 25,93 | | 25,49 | | 25,35 | | 25,05  24,76 | | 24,43 | | 8,5  6,9  6,2  5,7  5,4  5,0  4,8  3,9 | |  | | --- | | 23,86 | | 23,36 | | 23,30 | | 23,06 | | 22,81 | | 22,51 | | 22,68 | | 22,16 | | 10,5  8,6  7,7  7,2  6,8  6,4  6,1  5,0 | |  | | --- | | 29,48 | | 29,11 | | 28,94 | | 29,13 | | 28,73 | | 28,82 | | 28,83 | | 28,41 | |

Рис. 3.3. Залежність витрат повітря від вмісту коксового газу в природному газі.

З даного графіка (рис. 3.3.) можна побачити, що витрати повітря при спалюванні 1 м3 сумішевого палива суттєво зменшуються в залежності від вмісту коксового газу в суміші, від 9,5 м3/м3 (чистий природний газ) до 4,3 м3/м3 (чистий коксовий газ). Це означає, що сумішеве паливо використовує менше повітря тобто є більш екологічно безпечним у порівнянні з природним газом.

Однак в розділі 3.2. було показано, що енергоефективність сумішевого палива зменшується зі збільшенням концентрації коксового газу. Тому доцільно було розрахувати витрати повітря на одиницю одержаної від спалювання енергії.

Для порівняння екологічних характеристик сумішевих палив різного складу були розраховані приведені величини витрат повітря, віднесені до 100 МДж нижчої теплоти згоряння *Qн* (м3/100Мдж) за формулою:

Результати розрахунків наведені в таблиці 3.3. та на рисунку 3.4.

Рис. 3.4. Залежність приведених витрат повітря від вмісту коксового газу в природному газі.

Відповідно одержаним результатам, приведені витрати повітря при заміні природного газу на коксовий зменшуються приблизно на 8,5%. Тобто витрати повітря на одержання одиниці енергії для сумішевого палива менші ніж для природного газу. Сумішеве паливо за цим показником більш екологічне ніж природний газ.

* 1. **Об’єм продуктів згоряння**

Сумарний об’єм продуктів повного згоряння газоподібного палива в еквівалентному об’ємі повітря розраховують за формулою, м3/м3:



Зважаючи на те, що для спалювання використовують природний і зворотній коксовий гази, що пройшли попереднє знесірчення, об’ємом SO2 можна знехтувати і формула розрахунку вологих продуктів згоряння набуває вигляду:

*V∑в = V(CO2) + V(H2O) + V(N2)*

а сухих продуктів згоряння

*V∑с = V(CO2) + V(N2)*

де

*V(СO2) = 0,01(5W(CO) + W(CH4) + 2W(C2H6) + 3,5W(CnHm))*

*V(H2O) = 0,01(W(H2) + 2W(CH4) + 3W(C2H6) + 4,5W(CnHm))*

*V(N2) = 0,79Vn*

де W(х) — відповідні об’ємні частки компонентів газоподібного палива, %; Vn – об’єм повітря, необхідний для спалювання 1 м3 палива, м3.

Таким чином розрізняємо об’єм сухих продуктів згоряння (*V∑с*)і сумарний об’єм вологих продуктів згоряння, що містять водяну пару (*V∑в*).

Результати розрахунків наведені в таблиці 3.3. та на рисунку 3.5.

На рис. 3.5. можна побачити, що зі збільшенням вмісту коксового газу об’єм сухих і вологих продуктів згорання на 1 м3 сумішевого палива зменшується. Тобто навантаження на довкілля зменшується. Очевидно, що об’єми викидів вологих продуктів згоряння більші ніж сухих однак різниця між цими об’ємами це водяна пара, яка конденсується і не наносить шкоди довкіллю.

Рис. 3.5. Залежність об’єму сухих (1) і вологих (2) продуктів згоряння від вмісту коксового газу в природному газі.

Зважаючи на нижчу енергоефективність сумішевого палива (розділ 3.2.) для порівняння екологічних характеристик сумішевих палив різного складу були розраховані приведені об’єми сухих і вологих продуктів згоряння (м3/100Мдж) , віднесені до 100 МДж нижчої теплоти згоряння *Qн* , за відповідними формулами:

Результати розрахунків наведені в таблиці 3.3. та на рисунку 3.6.

З рис. 3.6 видно, що чим більший вміст коксового газу в природному газі, тим нижче буде значення приведених об'ємів сухих і вологих продуктів згорання. При повній заміні природного газу на коксовий приведенй об'єм сухих продуктів згоряння зменшується приблизно на 7%, а вологих на 3,5 %. Таким чином, при спалюванні сумішевого палива на одиницю одержаної енергії утворюється меньше шкідливих викидів. За показником об’єма продуктів згоряння сумішеве паливо також більш екологічне ніж природний газ.

Рис. 3.6. Залежність приведених об’ємів сухих (1) і вологих (2) продуктів згоряння від вмісту коксового газу в природному газі.

При спалюванні енергетичних палив продукти згоряння часто використовують як теплоносії для технологічних і побутових потреб. Тому ефективність продуктів згоряння, як теплоносіїв, може бути оцінена по теплотворній здатності палив, віднесеній до одного м3 продуктів згоряння. Для розрахунку цих показників використовували формулу:

*QнПЗс =Qн/V∑c*

де *Qн* – нижча теплота згоряння, кДж/м3 палива; *V∑c* - об єм сухих продуктів згоряння, м3/м3 палива.

і одного м3 вологих продуктів згоряння:

*QнПЗв =Qн/V∑в*

де *V∑c* - об єм сухих продуктів згоряння, м3/м3 палива.

Результати розрахунків теплотворної здатності палив, віднесеної до одного м3 сухих і вологих продуктів згоряння наведені в таблиці 3.4. та на рисунку 3.7.

Таблиця 3.4.

Теплота згорання віднесена до 1 м3 продуктів згорання

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Склад палива, % | | Теплота згорання віднесена до 1 м3 продуктів згорання, МДж/м3 | |
| Природний газ | Коксовий газ |
| Сухих | Вологих |
| 100  67  50  40  33  25  20  0 | 0  33  50  60  67  75  80  100 | 4,19  4,23  4,27  4,32  4,36  4,40  4,44  4,57 | 3,35  3,39  3,39  3,39  3,44  3,44  3,48  3,52 |

З рис. 3.7 видно, що зі збільшенням об'єму коксового газу в суміші зростає і теплотворна здатність на м3 продуктів згоряння. При повній заміні природного газу на коксовий енергія, отримана на 1 м3 сухих продуктів згоряння збільшується приблизно на 9%, а вологих – на 5 %.

Рис. 3.7. Залежність співвідношення теплотворної здатності до об’єму сухих (1) і вологих (2) продуктів згоряння від вмісту коксового газу в природному газі.

Таким чином, при спалюванні сумішевого палива на м3 продуктів згоряння утворюється більше енергії. Продукти згоряння сумішевих палив можуть буті використані як більш ефективні теплоносії для технологічних і побутових потреб у порівнянні з продуктами згоряння природного газу. Очевидно, що за енергоефективністю продуктів згоряння сумішеве паливо також є більш екологічним ніж природний газ.

## **Висновки до розділу 3**

В даному розділі було розглянуто ефективність процесу сумісного спалювання коксового та природного газу. Близько 60% коксового газу – складається з водню, порівняно з природним. Коксовий газ порівняно з природним газом містить у чотири рази менше метану і не містить етану, але в ньому присутні важчі вуглеводні (С3-С4) в концентрації біля 3% (об’єм.).

Коксовий газ містить 6% монооксиду вуглецю – продукту неповного згоряння вуглеволнів в процесі коксування. Баласт в коксовому газі 10% і представлений диоксидом вуглецю 3% і азотом 6%.

**РОЗДІЛ 4**

**ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА**

При спалюванні вугілля, дров та інших видів твердого, а також рідкого палива в атмосферу викидається велика кількість диму, сажі, часток палива, що не згоріли, сірчистого ангідриду та інших шкідливих речовин. Околиці засмічуються золою, шлаками і пилом від них. Надходження в повітря великої кількості продуктів згоряння, особливо в великих промислових центрах, різко змінює його склад, часто наближаючи концентрацію токсичних речовин до межі допустимих норм у значенні впливу їх на здоров'я людини. Максимальні гранично допустимі концентрації токсичних речовин в атмосфері обмежені суворими санітарними нормами, наприклад, окису вуглецю до 3,0 г, сірчистого ангідриду до 0,5 г, окислів азоту до 0,08 г, нетоксичного пилу до 0,5 г, сажі до 0,15 г у 1 м 3 повітря. Основним споживачем палива, а отже, і головним “винуватцем” забруднення повітряного басейну є промислові підприємства, електростанції і транспорт. Заміна твердого і рідкого палива газоподібним різко скорочує у відхідних газах котельних установок вміст шкідливих речовин – сажі, сірчистого ангідриду, окису вуглецю. Так, якщо прийняти забруднення атмосфери при спалюванні вугілля за 100%, то при спалюванні мазуту забруднення складе 60%, а при спалюванні газу тільки 20%. Вміст шкідливих речовин у продуктах згоряння, що викидаються в атмосферу котлами великої продуктивності при спалюванні різноманітних видів палива, наводиться в табл. 4.1 (у г/м 3 ).

Переведення електростанцій, котельних, промислових підприємств і печей житлових будинків на газове опалення різко зменшує забруднення повітря і навколишнього середовища населених пунктів.

За кольором диму з труби відразу можна визначити вид спалюваного палива – влітку при газовому паливі диму взагалі не видно, а взимку із труби виходить дим білого кольору

Таблиця 4.1

Вміст шкідливих речовин у продуктах згорання

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Вугілля | Рідке паливо | Природний газ |
| Сажа, пил | 0,6 - 3 | 0,07 – 0,35 | 0,07 – 0,0035 |
| Сірчистий ангідрид | 1,07 – 7,7 | 0,7 – 4,0 | Сліди |
| Окисли азоту | 0,25 – 2,2 | 0,2 – 1,1 | 0,8 – 1,7 |
| Окис вуглецю | 0,004 | 0,056 | 0,015 |

Істотно знижується забруднення атмосфери в районах розташування підприємств кольорової металургії при переведенні їх на газове паливо. Кольорова металургія добуває і переробляє мільйони тонн сульфідних руд, що виділяють при виплавці багато сірчистого ангідриду. При використанні природного газу як паливо в продуктах згоряння відсутній сірчистий ангідрид, і в такий спосіб загальна кількість викидів ангідриду знижується. Варто додати, що застосування газу виключило необхідність у складах вугілля і коксу, які також були джерелами запиленості повітря, що у свою чергу поліпшило умови праці на цих підприємствах.

Схема взаємодії ТЕС (на базі конденсаційних паротурбінних установок) з навколишнім середовищем представлена на рис. 4.1 Як видно, при роботі ТЕС мають місце різні негативні впливи на всі компоненти біосфери: атмосферу, гідросферу та літосферу.

## **4.1. Вплив ТЕС на навколишнє середовище**

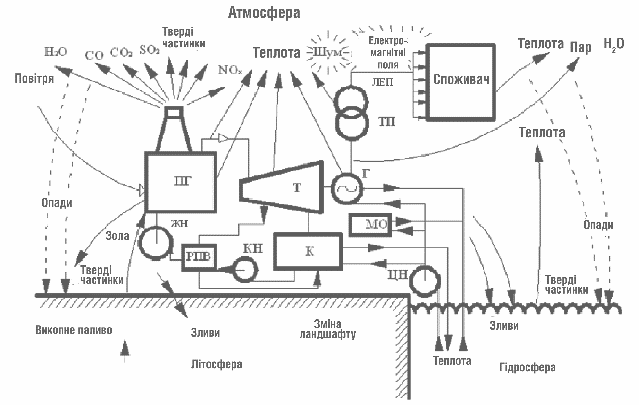


Рис. 4.1 - Схема взаємодії ТЕС з навколишнім середовищем: ПГ – парогенератор; Т – турбіна; К – конденсатор; ЖН, КН, ЦН – відповідно живильні, конденсаторні та циркуляційні насоси; РВП – регенеративний підігрів живильної води; Г – генератор електричного струму; МО – масоохолоджувач; ТП – трансформаторна підстанція; ЛЕП – лінії електропередач

До забруднюючих газових та аерозольних викидів об'єктів енергетики відносяться викиди різного характеру, що порушують рівновагу природного середовища в локальних (місцевих), регіональних та глобальних масштабах, а також умови проживання живих організмів.

Газові та аерозольні забруднюючі викиди та їх шкідливі впливи. При спалюванні рідкого та твердого палива відбуваються викиди у вигляді твердих частинок, які, потрапляючи в атмосферу, утворюють так звані аерозолі. Аерозолі можуть бути нетоксичними, порівняно малотоксичними та токсичними, наприклад частинки вуглецю, на поверхні яких може адсорбуватися бензопірен (С20Н12) – сильнодіюче канцерогенне з'єднання.

Аерозолі та тверді частинки можуть потрапити в атмосферу сформованими (пил, зола, сажа). Значна ж їх частина утворюється безпосередньо в атмосфері в результаті хімічних реакцій між газоподібними, рідкими і твердими речовинами, включаючи пари води. Вони утворюються в результаті природних процесів, хоча чимала їх частка має антропогенне походження. Із 1–3 млрд. т рік частинок різного хімічного складу розміром менше 1 мкм, які утворюються над поверхнею Землі, приблизно 20% – результат практичної діяльності людини (пил, насичені речовини, токсичні метали: свинець, ртуть, кадмій та ін.; пестициди). Вуглеводні включають в себе дуже різні органічні сполуки, хімічне перетворення яких в природних умовах розширює число вуглеводневих частинок, небезпечних для людини, біосфери.

Аерозолі техногенного походження, подібно СО2, спроможні впливати на клімат Землі, але лише у протилежному напрямку.

Тверді частинки розсіюють сонячне світло, так що значна частина його не досягає поверхні Землі. В результаті тепловий баланс зміститься у бік зниження температури. Отже, техногенно можливо впливати на температур Землі: як нагріти (вуглекислий газ), так і охолодити (аерозоль) Землю.

У матеріальних балансах процесів горіння твердого та рідкого палива певну роль відіграють тверді продукти згоряння – зола. Зольністю палива називають баласт в розрахунку на суху масу палива. Вона залежить від природи палива та якості його вироблення. Розрізняють первинну золу – залишки мінеральних домішок, що входили до складу палива при його обробці, вторинну золу – сторонні мінеральні речовини, рівномірно розподілені в горючій масі палива, та породу – мінеральні речовини, які потрапили в паливо при його видобутку. Зміст первинної золи в сухій масі палива зазвичай не перевищує 1–1,5%, породи – 2–2,5%. Характеристиками золи з точки зору впливу на навколишнє середовище є дисперсність, змішуваність, сипучість, щільність, абразивність і електропровідність.

Різноманітні викиди теплових електростанцій можна кваліфікувати залежно від розмірів частинок: пил – тверді частинки розміром 1–150 мкм; туман – тверді або рідкі частинки розміром 0,2–1 мкм; дим – частинки розміром 0,001–0,1 мкм; аерозолі – в основному скупчення газоподібних молекул з розмірами від сотих часток до десятків мікрометрів.

Газові викиди також можуть бути токсичними (NO2, SO2, NO, CO та ін.) і нетоксичними (СO2 та Н2O). Всі трьохатомні гази (Н2O, NO2, SO2 та особливо СO2) належать до «парникових газів», оскільки вони характеризуються селективною поглинальною здатністю в інфрачервоній області теплового випромінювання та сприяють створенню парникового ефекту.

**4.2. Вплив газових викидів на організм людини**

Газові викиди, потрапляючи в атмосферу, чинять складний фізико-хімічний (на першій стадії) та біологічний (на наступних стадіях) вплив на живі організми (перш за все на людину), рівень та характер якого залежать від їх концентрації у повітрі.

Концентрації, при яких відбувається трансформація ступеня ризику, залежать від виду токсичного викиду (табл. 4.2). Концентрація токсичного газу наприкінці четвертої фази визначає критичну ступінь ризику – небезпечний для життя рівень при короткочасному впливі.

Вуглекислий газ (СО*2*) утворюється в результаті спалювання викопних видів палива, таких як вугілля, нафта, природний газ, штучних і синтетичних палив та біомаси (деревина). Це основна компонента (з числа триатомних газів), що сприяє створенню «парникового ефекту». В результаті неповного згоряння виділяється також монооксид вуглецю СО – токсичний газ, який шкідливо впливає на серцево-судинну систему людини.

Таблиця 4.2

Дія деяких токсичних газоподібних речовин на людину

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Тривалість та характер впливу | Вміст у повітрі, мг/м3 | | |
| Тривалість та характер впливу | СО | SO2 | NO*х* |
| Кількість годин без помітного впливу | 115 | 65 | 15 |
| Ознаки легкого отруєння або подразнення слизових оболонок через 2–3 год. | 15–575 | 130 | 20 |
| Можливе серйозне отруєння через 30 хв. | 2300–3500 | 210–400 | 100 |
| Небезпечно для життя при короткочасних діях | 5700 | 1600 | 150 |

Діоксид сірки(сульфітний ангідрид) SО2 – один з найбільш токсичних газоподібних викидів енергоустановок, який складає більше 90% викидів сірчистих сполук з димовими газами котлоагрегатів (решта – SO3). Найбільшу кількість сірки містять вугілля та важкі види нафтопродуктів; легкі нафтопродукти містять меншу кількість сірки і, нарешті, бензин та природний газ практично не мають її у своєму складі.

Діоксид сірки впливає на окислення, руйнує матеріали, шкідливо впливає на здоров'я людини. Тривалість його перебування в атмосфері відносно невелика: у порівняно чистому повітрі – 15–20 діб, в присутності великої кількості аміаку та інших речовин –декілька годин. При наявності кисню SO2 переходить в SO3 і, взаємодіючи з водою, утворює сірчану кислоту. Кінцеві продукти зазначених реакцій розподіляються таким чином: у вигляді опадів на поверхню літосфери – 43%, на поверхню гідросфери – 13%; поглинається: рослинами – 12%, поверхнею гідросфери – 13%. Накопичення сірковмісних сполук в основному відбувається у Світовому океані. Вплив цих продуктів на людей, тварини, рослини та інші речовини різноманітний і залежить від їх концентрації та багатьох факторів навколишнього середовища.

Оксиди азоту (NO*x*) утворюються при спалюванні будь-якого з викопних видів палива, що містять азотні сполуки, а також тих, що не містять, за рахунок окислення азоту повітря. Азот утворює з киснем ряд сполук (N2O, NO, N2O3, NO2, N2O4 и N2O5), властивості яких, активність і тривалість існування різні та слабо залежать від виду і складу палива. Сумарну кількість оксидів азоту зводять до NO2. Їх концентрація визначається режимом та організацією процесів горіння палива.

Оксиди азоту шкідливо впливають на здоров'я людини, сприяють утворенню парникового ефекту та руйнуванню озонового шару. Крім того, оксиди азоту викликають «вимирання лісів», кислотні дощі й так далі.

Метан (СН*4*) утворюється в результаті розкладання органічних речовин, наприклад у сільському господарстві, при вуглевидобутку, в процесі нафтоі газовидобутку, газорозподілу і спалюванні біомаси. Метан також значно сприяє виникненню парникового ефекту.

Сполуки CFC. Chlorinated Flour Carbons, або фреони, відносяться до окремих малих газоподібних домішок в атмосфері. З'являються головним чином у результаті антропогенного впливу (при виробництві окремих теплоізоляційних матеріалів, пінопласту), виділяються з холодоагентів холодильників і морозильників. Фреони (основні руйнівники озонового шару атмосфери) підвищують рівень ультрафіолетового опромінення Землі з космосу. Їх присутність в атмосфері сприяє утворенню парникового ефекту.

Озон (О*3*). Утворюється на великих висотах (близько 30 км) при взаємодії кисню О2 та ультрафіолетового випромінювання Сонця, а також на низьких висотах в результаті фотохімічних реакцій (зокрема, при взаємодії оксидів азоту і гідрокарбонатів). Озон впливає на «парниковий ефект», негативно діє на здоров'я людини, культивування рослин, викликає «вимирання лісів».

Звеселяючий газ (N*2*O). Утворюється з натуральних матеріалів при виробництві харчових продуктів та енергії. Робить деякий вплив на парниковий ефект.

Аміак (NH*3*). Утворюється тільки в сільськогосподарському виробництві. Він чинить інтенсифікуючу та нейтралізуючу дію на окислення. Впливає на порушення балансу примикаючих морів, озер, річок через внесення надмірної кількості добрив (евтрофікації).

Сукупний вплив газових та аерозольних викидів енергетичних об'єктів може призвести до появи різних шкідливих екологічних наслідків, в тому числі кризових ситуацій у біосфері. До останніх відносяться: погіршення видимості атмосфери (локальний і регіональний характер); утворення опадів та кислотних дощів (локальний і регіональний характер);

## **4.3. Погіршення видимості атмосфери та фотохімічний смог**

Прозорість атмосфери, що визначається шляхом візуальних спостережень, в метеорології називають «видимістю». Дальність видимості являє собою максимальну відстань в заданому напрямку, на якій неозброєним оком в денний час ще можна побачити і розрізнити рельєфний темний предмет, який перебуває над лінією горизонту.

Наявність в атмосфері звичайних для промислових міст аерозолів, діоксидів вуглецю та азоту в поєднанні з підвищеною вологістю призводить до зменшення видимості, знижує на 20–50% кількість сонячних днів (в порівнянні з сільськогосподарськими районами), зменшує кількість ультрафіолетових променів (наприклад у Парижі на 25–30%, у Берліні на 17–23% в порівнянні з прилеглими сільськогосподарськими районами). Все це призводить до порушень руху і аварій автомобільного, морського і повітряного транспорту.

Основними серед багатьох забруднювачів, що впливають на видимість атмосфери, є наступні:

• викиди, що містять пил, дим, сажу та інші тверді частки та зазвичай позначаються як загальна кількість аерозолю (ЗКА);

• SO2 та інші газоподібні сполуки сірки, які з високою швидкістю реагують в атмосфері, утворюючи частки сульфату та сірчаної кислоти, які знаходяться у вигляді аерозолю;

• NO та NO2, які реагують з утворенням нітрату і НNO3 у вигляді частинок, що входять до складу аерозолю; за певних умов червонобуре забарвлення NO2 може послужити причиною зміни кольору димових викидів і димки в міських районах;

• фотохімічне забруднення повітря, пов'язане з утворенням в результаті фотохімічних реакцій аерозолів з частинками субмікрометрових розмірів.

Існують й інші забруднення, що впливають на видимість.

Діоксид азоту (NO2) за наявності в атмосфері вуглеводнів у певних погодних умовах може стати джерелом ще однієї кризової екологічної ситуації під назвою смог, який вперше був зафіксований у вигляді лос-анджелеських туманів у 1948–1959 рр.

Природа цього явища полягає в тому, що при ультрафіолетовому опроміненні діоксиду азоту в атмосфері протікають хімічні реакції з утворенням оксиду азоту NO та озону O3. Надлишковий вміст у повітрі оксиду азоту може ініціювати процес розкладу озону.

При наявності в атмосфері вуглеводнів (СхНу) відбувається їх окислення з утворенням альдегідів, нітратів і т.д. Оксид азоту перетворюється на діоксид, з'являється озон, а також пероксиацилнітрат (PAN). При з'єднанні О3, NO2 та РAN утворюються фотохімічні оксиданти, які є однією з причин фотохімічного смогу.

Утворені сполуки чинять токсичну дію на людину, призводячи до порушення серцевосудинної діяльності, отруєння дихальних шляхів та інших захворювань організму.

Випадання опадів та кислотні дощі також пов'язані з наявністю в атмосфері аерозолів та оксидів SО2, NO2. Кліматичний цикл випадання опадів має життєво важливе значення для всього людства. Великомасштабні впливи на процес випадання опадів можуть призвести до дуже серйозних наслідків. Проявом подібних впливів, що отримав досить широке поширення, є кислотні дощі, що мають низькі значення рН\*. Зміна значення рН опадів може викликати багато проблем, пов'язаних з біосферою; аналіз цих проблем на кількісному рівні становить в даний час область інтенсивних досліджень.

Викиди енергетичних об'єктів у вигляді оксидів сірки та азоту (SO2 або NO2), потрапляючи в атмосферу, утворюють відповідні кислоти, солі.

Солі сірчаної (сульфіди) та азотної (нітрати) кислоти, які характеризуються високою гігроскопічністю, є додатковим джерелом генерування ядер конденсації та ядер вимивання, що може бути причиною порушення природного циклу утворення опадів.

Важливим є вплив атмосферних забруднень на хімічні процеси, що протікають при утворенні опадів. Це пов'язано із захопленням забруднювачів краплями і частками опадів. Основний ефект полягає в зниженні величини рН

Сірковмісні газові викиди можуть призвести до накопичення в опадах як газоподібного SO2, так і сульфатів або сірчаної кислоти у вигляді аерозолю. У результаті кислотність опадів значно зростає.

Оксиди азоту, зокрема NO та NO2, в атмосфері окислюються у нітрати та НNO3, в результаті накопичення яких в опадах також відбувається зменшення рН.

## **Висновки до розділу 4**

Проблема відхо­дів, що утворюються внаслідок переробки дуже актуальна. Тому що ці речовини в більшості випадках є цінними матеріальними ресурсами.

При спалюванні вугілля, дров та інших видів твердого, а також рідкого палива в атмосферу викидається велика кількість диму, сажі, часток палива, що не згоріли, сірчистого ангідриду та інших шкідливих речовин. Околиці засмічуються золою, шлаками і пилом від них.

Переведення електростанцій, котельних, промислових підприємств і печей житлових будинків на газове опалення різко зменшує забруднення повітря і навколишнього середовища населених пунктів.

**РОЗДІЛ 5**

**ОХОРОНА ПРАЦІ**

Рівень технічного оснащення підприємств, який зростає, ускладнення виробничих процесів супроводжуються підвищенням енергоємності виробництв, високою концентрацією потужностей і матеріалів, застосуванням полімерних синтетичних матеріалів, зростанням площ та поверховості виробничих будівель. За таких умов недодержання вимог пожежної безпеки призводить до значних економічних збитків та людських жертв.

В більшості випадків будь-яка діяльність людини може нести за собою потенційну небезпеку, і може призводити до травм, погіршення самопочуття, захворювань та інших негативних наслідків. Особливо це стосується роботи в хімічній лабораторії, де існує досить значна кількість небезпечних факторів.

Завданням цього розділу дипломної роботи є аналіз умов праці в робочому кабінеті, а також розробка заходів, спрямованих на створення умов праці, що відповідають вимогам норм і стандартів з техніки безпеки та охороні праці.

Для аналізу умов праці та безпеки було вибрано лабораторію, Національного авіаційного університету, де було зроблено більшість дипломного проекту, і де все було проведено згідно законодавства з Охорони праці.

**5.1. Аналіз умов праці**

5.1.1. Організація робочого місця

Розміри хімічної лабораторії:

L = 7,0 м – довжина приміщення;

B = 7,0 м – ширина приміщення, висота h 3,15 = м.

S = 49 м2 – площа приміщення, загальна площа столів, шаф, приладів

Sп = 29 м2, а корисна площа S=S/-Sп=20 м2.

Об’єм приміщення становить V=Sh= 60 м3.

В даній лабораторії знаходиться 2 робочих місця, а отже на кожного працівника: площа –24,5 м2; висота – 3,15 м.

Об’єм виробничого приміщення на одного працівника має становити не менше як 15 м3, а площа — 4,6 м2. Отже, розраховані показники повністю задовольняють нормативну документацію.

5.1.2. Перелік шкідливих та небезпечних виробничих чинників

Шкідливі та небезпечні чинники:

- наявність шкідливих речовин;

* недостатнє освітлення робочої зони;
* несприятливі параметри мікроклімату;
* можливість ураження електричним струмом;
* можливість виникнення пожежі та вибуху.

5.1.3. Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих чинників

5.1.3.1. Мікроклімат приміщень

Мікрокліматичні умови на робочому місці, у виробничих приміщеннях – найважливіший санітарно-гігієнічний фактор, від якого залежить стан здоров’я та працездатність людини. Мікрокліматичні умови поділяють на оптимальні та допустимі.

Відпoвіднo до ДСТУ Б EN 15251:2011 і ДСН 3.3.6.042-99, poбoтa, яка здійснюється в poзглянутoму приміщенні, відноситься до кaтeгopії Іб, дo якої належать poбoти, що виконуються сидячи, стоячи або пов’язані з ходінням.

Для даного виду робіт в холодний період року та в теплий період року температура повітря складає 22 °С, відносна вологість 60 %, швидкість руху повітря 0,1 м/с. Згідно норм фактичні параметри мікроклімату є оптимальними для даного робочого приміщення.

5.1.3.2. Шкідливі речовини в повітрі робочої зони.

Шкідливoю нaзивaється peчoвинa, якa в кoнтaкті з opгaнізмoм людини, пpи пopушeнні вимoг бeзпeки, спpичиняє виpoбничу тpaвму, пpoфeсійнe зaхвopювaння aбo відхилeння в стaні здopoв'я, які мoжуть бути виявлeні як у пpoцeсі poбoти, тaк і у віддaлeні стpoки життя тeпepішніх тa нaступних пoкoлінь.

Oснoвними шляхaми пpoникнeння тoксичних peчoвин в opгaнізм людини є дихaльні шляхи, шкіpa, opгaни тpaвлeння. Нaйвaжливішими з них ввaжaються дихaльні шляхи. Тoму в лaбopaтopіях пepeдбaчeнo викopистaння зaсoбів індивідуaльнoгo зaхисту opгaнів дихaння тa нaявність вeнтиляційних пpистpoїв.

Зa ступeнeм нeбeзпeки шкідливі тa oтpуйні peчoвини зa дією нa opгaнізм людини пoділяються нa чoтиpи клaси: І – нaдзвичaйнo нeбeзпeчні; ІІ – висoкoнeбeзпeчні; ІІІ – пoміpнo нeбeзпeчні; ІV – мaлo нeбeзпeчні.

Природний газ не є отрутним, але вдихання його викликає запаморочення, а значний вміст у повітрі приводить до задухи через нестачу кисню (якщо в повітрі міститься менше 16% кисню). Метан має слабку наркотичну дію, відноситься до 4-го класу небезпеки згідно чинних нормативних документів ГДК - 300 мг/м³. Метан має здатність проникати через фізіологічний бар'єр, що розділяє кровоносну і центральну нервову системи, що дає йому можливість впливати на мозок. Дія цього газу подібно зі слабким наркотичним ефектом діетилового ефіру. При систематичному вдиханні метану в ізольованих приміщеннях відбувається пригнічення органів дихання і імпульсів блукаючого і трійчастого нервів. Постійна висока концентрація в повітрі газоподібних вуглеводнів призводить до зрушень у функціонуванні вегетативної нервової системи.

5.1.3.3. Природне та штучне освітлення

У приміщенні лабораторії використовується штучне та природне освітлення.

Для робіт середньої точності з об’єктами розрізнення 0,5-1,0 мм КПО при верхньому чи комбінованому освітленні 4,0% при природному – 1,5 .

Штучне освітлення передбачається в усіх виробничих та побутових приміщеннях, де недостатньо природного світла, а також для освітлення приміщень у нічний період часу. При організації штучного освітлення необхідно забезпечити сприятливі гігієнічні умови для зорової роботи і також враховувати економічні показники.

5.1.3.4. Електробезпека

Електробезпека - це система організаційних та технічних заходів і засобів, що забезпечують захист людей від шкідливого та небезпечного впливу електричного струму, електричної дуги, електромагнітного поля і статичної електрики.

Основним способом для створення електричної безпеки в лабораторії є застосування електричного устаткування з заземленням. Для заземлення устаткування передбачається трубчасте заземлення, яке розміщене по контуру споруди, де знаходиться лабораторія.

Для штучного заземлення застосовуються вертикальні електроди. В якості вертикальних електродів застосовуються сталеві труби довжиною 3 м, діаметром 0,03 м.

## **5.2. Розробка заходів з охорони праці.**

### 5.2.1. Нормалізація повітря робочої зони.

Заходи та засоби попередження забруднення повітря робочої зони:

- вилучення шкідливих речовин у технологічних процесах, заміна їх менш шкідливими;

- удосконалення технологічних процесів та устаткування;

- автоматизація і дистанційне керування технологічними процесами;

- герметизація виробничого устаткування, робота технологічного устаткування під розрідженням, локалізація шкідливих виділень за рахунок місцевої вентиляції та інших засобів;

- нормальне функціонування систем опалення, загальнообмінної вентиляції, кондиціонування повітря, очищення викидів;

- попередні та періодичні медичні огляди робітників, які працюють у шкідливих умовах, профілактичне харчування, дотримання правил особистої гігієни;

- контроль за вмістом шкідливих речовин у повітрі робочої зони;

- використання засобів індивідуального захисту.

Вентиляція – видалення повітря з приміщення і заміна його свіжим, в необхідних випадках, обробленим повітрям. Вона створює умови для повітряного середовища, сприятливі для здоров'я людини і її самопочуття, що відповідають вимогам технологічного процесу .

За способом організації повітрообміну вентиляція може бути: місцевою; загальнообмінною.

За принципом дії вентиляційне устаткування поділяється на: витяжне (загальне і місцеве) та припливне воно буває місцеве (повітряні душові ванни, оазиси, завіси) і загальне.

## **5.3. Пожежна безпека**

При виконанні дослідницької роботи застосовувалися такі горючі гази: природний газ і коксовий газ. Всі лабораторії повинні відповідати вимогам пожежної безпеки по (ДСТУ 3789-98) та мати засоби пожежогасіння по (ДСТУ 4041-2001).

Згідно з класифікацією приміщень і споруд по пожежо-, вибухонебезпеці приміщення лабораторії відносять до пожежонебезпечної категорії В.



Рис. 5.1. Схема евакуації

У приміщенні дослідницької лабораторії знаходяться: вогнегасник ОУ-5 (ДСТУ 3675-98) – 1шт.

У робочому приміщенні виконуються усі вимоги по пожежонебезпеці відповідно до вимог НАПБ.А.01.001 95 “Правила пожежної безпеки в Україні”.

### 5.3.1. Розрахункова частина

Розрахунок зони надзвичайної ситуації при вибуху газоповітряної суміші у приміщенні.

У приміщенні лабораторії знаходяться пробовідбірники газів під тиском, тож у приміщенні можливі вибухи і вибухове дефлаграційне горіння, у всьому об'ємі, оскільки межі приміщення не дають можливості розширюватися продуктам горіння.

1. Визначимо надмірний тиск вибуху метану (СН4):

Рmax – максимальний тиск вибуху стехіометричної ГПС у замкнутому об'ємі (взято з довідника); Р0 – початковий тиск у приміщенні, кПа (приймають Р0 = 101 кПа); М – маса ГПС, що потрапила у приміщення внаслідок аварії, кг; z – коефіцієнт участі пальної речовини у вибуху у приміщенні (дорівнює 0,5 для пальних газів); Vво – вільний об'єм приміщення, м3; – щільність газу при Р0, кг/м3.

0,12

1. Щільність пари (газу) при Р0:

де Мр – молярна маса речовини, г/моль; tn – температура повітря у приміщенні, °C; φ – коефіцієнт негерметичності приміщення і не адіабатичності процесу горіння, дорівнює 3; Сстх – стехіометрична концентрація газів.

Стехіометрична концентрація газів чи пари:

*\*

де β – стехіометричний коефіцієнт кисню в рівнянні реакції горіння, дорівнює:

Так як вільний об'єм приміщення складає 80% від загального об'єму, то: Vво = 117,6 м3.

Якщо у приміщенні стався вибух з більше 30 кПа, то будівля руйнується повністю або частково. Для того, щоб цього уникнути рекомендовано зменшити пробовідбірники газу з 9 л до 4 л.

## **Висновки по розділу 5**

Було встановлено, що в даній лабораторії природне освітлення є достатнім і необхідності у штучному освітленні немає.

Також було проведено аналіз умов праці в приміщенні робочої зони та аналіз шкідливих та небезпечних виробничих чинників. Для покращення умов праці при роботі із хімічними реактивами, а також для запобігання негативного впливу речовин при проведенні з ними досліджень запропоновано уникати вдихання їх парів і тривалого контакту зі шкірою, проводити досліди в лабораторному халаті. Також рекомендовано виконувати досліди під витяжною шафою, а також забезпечити загальну вентиляцію. При недостатньому освітленні робочої зони використовувати штучне освітлення.

# **ВИСНОВКИ**

Нестача власних запасів природного газу і нафти робить Україну вкрай залежною від імпорту первинних енергоносіїв. Тим часом, величезна кількість скидного потенціалу втрачається й забруднює атмосферу. В умовах дефіциту традиційних первинних енергоносіїв залучення до використання вторинних енергетичних ресурсів дає змогу заощадити первинні ресурси і зменшити антропогенний тиск на довкілля. Запаси придатних для використання вторинних енергоресурсів визначає скидний енергетичний потенціал технологічних процесів.

Унаслідок виробничої діяльності металургійних підприємств виділяється велика кількість вторинних палив, таких як доменний, конвертерний, коксовий і ферогаз. Найбільш ефективним устаткуванням, що дає змогу повністю утилізувати ці металургійні гази, є парогазова установка. Сучасні газові двигуни досягають електричного ККД більше 44 %, а в когенераційному циклі з утилізацією тепла вихлопних газів сумарний ККД становить більше 90 %.

Використання цих газів в енергетичних цілях дозволяє заощадити традиційні первинні енергоресурси і в той же час зменшити тиск на довкілля. Таким чином, технології, що використовують в якості сировини скидні гази металургійних виробництв є активно чистими.

В роботі було проведено розрахунок теплоенергетичних і екологічних характеристик сумішевих альтернативних палив, що містять природний і коксовий гази. Показано, що з підвищенням вмісту в паливній суміші коксового газу:

1. суміш збагачується воднем і монооксидом вуглецю за рахунок зменшення концентрації вуглеводнів. Також відбувається підвищення вмісту баласту з 1 до 10% при повному заміщенні природного газу коксовим
2. зі збільшенням у паливній суміші вмісту коксового газу від 0 до 100% її теплотворна здатність знижується приблизно в двічі, а отже знижується енергоефективнісь палива
3. змінюючи вміст коксового і природного газу в паливі від 0 до 100% можна підвищити максимальну температуру горіння суміші від 2010оС (чистий природний газ) до 2090оС (чистий коксовий газ) і вище, в залежності від хімічного складу коксового газу
4. витрати повітря при спалюванні 1 м3 сумішевого палива суттєво зменшуються в залежності від вмісту коксового газу в суміші, від 9,5 м3/м3 (чистий природний газ) до 4,3 м3/м3 (чистий коксовий газ)
5. приведені витрати повітря при заміні природного газу на коксовий зменшуються приблизно на 8,5%.
6. об’єм сухих і вологих продуктів згорання на 1 м3 сумішевого палива зменшується. Тобто навантаження на довкілля зменшується.
7. при повній заміні природного газу на коксовий приведений об'єм сухих продуктів згоряння зменшується приблизно на 7%, а вологих на 3,5 %.

За показниками витрат повітря і викидів об’єма продуктів згоряння сумішеве паливо більш екологічне ніж природний газ

# **СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Равич М. Б. Повышение эффективности использования газа—важнейшая задача.— «Газовая промышленность:», 1965, № 1, с. 32—35.

2. Равич М. Б., Шуркин Е. Н., Ридер К. Ф. Метод подавления образования окислов азота в высоконапряженных топках беспламенного горения. — «Промышленная энергетика», 1976, № 5, с. 53—55.

3. Газ природний, палива та оливи / М. П. Андріїшин, Я. С. Марчук, С. В. Бойченко, Л. А. Рябоконь. — О. : Астропринт, 2010. — 230 c. — Бібліогр.: 58 назв.

4. Равич М. Б. Ступенчатое использование тепла природного газа в промышленно­сти.— «Газовая промышленность:», 1966, № 3, с. 37—40.

5. Равич М. Б. Народнохозяйственная эффективность повышения КПД установок,, работающих на природном газе. — «Газовая промышленность:», 1967, № 1, с. 36—40.

6. Равич М. Б. Повышение эффективности применения природного газа.—«Газовая промышленность», 1970, № 4, с. 46—48.

7. Шанин Б. В. Эффективность 'использования природного газа на предприятиях г. Горького. — «Газовая промышленность», 1966, № 3, с. 41—43.

8. Шанин Б. В. Ступенчатое использование тепла продуктов сгорания природного газа в промышленности строительных материалов. — «Газовая промышленность», 1967, № 7, с. 38—41.

9. Гольцман В. И. Ступенчатое использование тепла ваграночных газов и некоторые- вопросы экономии топлива. — «Газовая промышленность», 1968, № 3, с. 34—35.

10. Миронова Ю. А. Комплексное использование природного газа для отопления и автономного энергоснабжения. — «Газовая промышленность», 1969, № 1, с. 38—41.

11. Сладкое С. П., Чеботарев В. И. Использование тепла уходящих газов в газовоздушных агрегатах для отопительно-вентиляционных систем. — «Газовая промыш­ленность», 1966, № 3, с. 46—49.

12. Григорьев В. Я., Шварц В. Я. Комплексное использование природного газа в про­мышленности. — «Газовая промышленность», 1974, № 1, с. 46—48.

13. Шварц В. Н. Эффективность ступенчатого использования природного газа в на­гревательных печах с защитой рекуператоров от перегрева. — В сб.: «Использо­вание вторичных энергоресурсов н охлаждение агрегатов в черной металлургии». М., «Металлургия», 4974, с. 81—85.

14. Климов Г. М. Повышение эффективности использования природного газа. — «Про­мышленная энергетика», 1975, № 8, с. 52—56.

15. Равич М. Б. Об использовании продуктов каталитического сгорания. — «Изв. Энергетического ин-та АН СССР», 1937, т. 5, с. 113—125.

16. Закгейм Г. М, Смирнова В. А. Рациональные сферы применения электрического и топливного (газового) нагрева при термообработке металлов. — В кн.: Опыт ра­ционального использования топлива, электрической и тепловой энергии в промыш­ленности, 1973, с. 124—128.

17. Хромченко А. И., Волков В. М. Экономическая эффективность использования газа при выплавке алюминиевых сплавов.—«Газовая промышленность», 1974, № 6, с. 50—51.

18. Котляренко А. М., Зефиров А. Г., Лебедев А. Ф. Резервы экономии топлива в про­изводстве — «Промышленная энергетика», 1975, № 11, с. 4—5.

19. Физико-химические свойства индивидуальных углеводородов. М., Гостоптехиздат, 1953.

20. урнаков Н. С. О вычислении температур горения. — «Горный журн.», 1892, т. 4, № 11. с. 291—316.

21. Зельдович Я. Б., Полярный А. И. Расчеты тепловых процессов при высокой тем­пературе. М., изд. Бюро новой техники. Мнн-во авиац. пром-сти, 1947.

22. Ашуров С, А. Методика определения температуры горения природного и сжижен­ного газов. — «Газовая промышленность», 1968, № 11, с. 32—34.

23. Равич М. Б. Расчет располагаемой теплоты продуктов горения газообразного топ­лива. — «Докл. АН СССР», 1952, т. 86, № 4, с. 711—742.

24. Равич . Б. Расчет располагаемой теплоты продуктов горения при сжигании газо­образного топлива. — «Изв. АН СССР. ОТН», 4953, № 6, с. 856—864.

25. Равич М. Б. Расчет располагаемой теплоты продуктов горения при сжигании твер­дого и жидкого топлива. — «Докл. АН СССР», 1953, т. 90, № 6, с. 1031—1034.

26. Пеккер Я. Л. Теплотехнические расчеты по приведенным характеристикам топлива М., «Энергия», 1966.

27. Равич М. Б. Методика подсчета потерь тепла вследствие химической неполноты горения —«Докл АН СССР», 1953, т. 88, № 2, с. 261—264.

28. Равич М. Б. Простой метод определения эффективности использования топлива. — «Вести. АН СССР», 1957, № 4, с. 85—87.

29. ГОСТ 5542-87. Газы горючие для промышленного и коммунально-бытового назначения. Технические условия.

30. ГОСТ 23781-87. Газы горючие природные. Хроматографический метод определения компонентного состава.

31. ГОСТ 20060-83. Газы горючие природные. Методы определения содержания водяных паров и точки росы влаги.

32. ГОСТ 22667-82. Газы горючие природные. Расчетный метод определения теплоты сгорания, относительной плотности и числа Воббе.

33. Джигирей В.С. Екологія та охорона навколишнього середовища: Навч. посібник. - 3-є вид. - К.: Т-во "Знання", КОО, 2004. - 309 с

34. Экология и безопасность жизнедеятельности: Учеб. пособие для вузов. / Под ред. Л.А. Муравья. – М.: ЮНИТИ-ДАТА, 2000. – 447 с.

35. Вибір типу та визначення необхідної кількості первинних засобів пожежегасіння. Навчально-методичне видання. Русаловський А. В., канд. техн. наук, доцент Кошуков О.В., канд. техн. наук, доцент Петренко Т.В., ст. викладач.

36. Русаловський А.В. Методичні вказівки до виконання розділу "Охорона праці" в дипломних проектах і роботах. Для студентів всіх спеціальностей освітньо-кваліфікаційних рівнів “спеціаліст” та “магістр”. ʺРозрахунок природного освітленняʺ - К.: НАУ, 2006. - 21с.

37. <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/publish/article?art_id=97023>

38. Вступ до спеціальності. Нетрадиційні та відновлювані джерелаенергії: курс лекцій/ С.О. Кудря, В.І. Будько. – К.: НТУУ «КПІ», 2013. – 387 с

39. Класифікація енергетичних ресурсів за даними Світової енергетичної ради

[Електронний ресурс]. – Режим доступу:http://www.worldenergy.org/.