

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

**Н. М. Самойленко, В. І. Аверченко, В. Б. Байрачний**

**СИСТЕМИ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ПРОМИСЛОВА ЕКОЛОГІЯ  
Ч. І. МЕТАЛУРГІЙНИЙ ТА ЕНЕРГЕТИЧНИЙ КОМПЛЕКС**

Навчальний посібник  
для студентів спеціальності 101 «Екологія»

Харків  
НТУ «ХПІ»  
2020

УДК 504.5:669](075.8)

С 17

Автори:

*Н. М. Самойленко*, канд. техн. наук, проф., *В. І. Аверченко*, канд. техн. наук, доц., *В. Б. Байрачний*, канд. техн. наук, проф.

Рецензенти:

*В. М. Фрумін*, доктор техн. наук, ДУ «Державний науково-дослідний і проектний інститут основної хімії»;

*С. О. Самойленко*, канд. техн. наук, доцент, Харківський державний університет харчування та торгівлі

*Рекомендовано*

*Редакційно-видавничою радою НТУ «ХПІ»  
(протокол №3 від 6 листопада 2019 р.)*

**Самойленко Н. М.**

С 17 Системи технологій та промислова екологія. Ч. І. Металургійний та енергетичний комплекс : навч. посіб. / Н. М. Самойленко, В. І. Аверченко, В. Б. Байрачний. – Харків : НТУ «ХПІ», Лідер, 2020. – 212 с.  
ISBN 978-617-7476-42-8

Розглянуто основні технології металургійного та паливно-енергетичного комплексу, які займають важливе місце у промисловості України. Наведено відомості щодо технологічних процесів та обладнання, які є джерелами утворення забруднюючих речовин та їх надходження у довкілля. Охарактеризовано суть негативного впливу технологічних процесів і виробництва на елементи навколишнього середовища та виділено екологічні аспекти процесів. Розглянуто інженерні природоохоронні заходи щодо захисту довкілля від екологічно шкідливих виробництв.

Посібник призначений для студентів спеціальності 101 «Екологія» освітньої програми «Інженерна екологія» бакалаврського рівня вищої освіти.

Іл. 39. Табл. 8. Бібліогр.: 116 назв.

**УДК 504.5:669](075.8)**

ISBN 978-617-7476-42-8

© Н. М. Самойленко, В. І. Аверченко,  
В. Б. Байрачний, 2020

© НТУ «ХПІ», 2020

© Видавництво «Лідер», 2020

*Навчальне видання*

САМОЙЛЕНКО Наталія Миколаївна  
АВЕРЧЕНКО Валентина Іллівна  
БАЙРАЧНИЙ Володимир Борисович

СИСТЕМИ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ПРОМИСЛОВА ЕКОЛОГІЯ  
Ч. I. МЕТАЛУРГІЙНИЙ ТА ЕНЕРГЕТИЧНИЙ КОМПЛЕКС

Навчальний посібник  
для студентів спеціальності 101  
«Екологія»

*Відповідальний за випуск В. П. Шапорев*  
Роботу до видання рекомендував *М. Г. Зінченко*  
Авторська редакція

План 2019 р., поз.122

Підписано. до друку 01.07.2020 р.  
Формат 60×84<sup>1/16</sup>. Папір офсетний. Друк ксерографічний.  
Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк. 12,3.  
Наклад 300 прим. Зам. № 07-20. Ціна договірна.

---

Видавничий центр НТУ «ХПІ». Харків вул.Кирпичова, 2  
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК №3478 від 21.08.2017 р.

---

ТОВ «Видавництво «Лідер»  
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи  
до Державного реєстру видавців, виготівників  
і розповсюджувачів видавничої продукції  
серія ДК №4224 від 08.12.2011 р.  
61168, м. Харків, вул. Валентинівська, 12  
тел. (057) 758-77-75

Для нотаток

## ЗМІСТ

|                                                                                                      |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>ВСТУП.....</b>                                                                                    | <b>6</b>  |
| <b>ЧАСТИНА 1.</b>                                                                                    |           |
| <b>ВИРОБНИЦТВО МЕТАЛІВ ТА ЇХ СПЛАВІВ .....</b>                                                       | <b>8</b>  |
| <b>1.Металургійний комплекс. Метали та сплави .....</b>                                              | <b>8</b>  |
| 1.1. Структура та сучасний стан металургійного комплексу України .....                               | 8         |
| 1.2. Характеристика металів та сплавів .....                                                         | 16        |
| <b>2. Технологія виробництва чавуну .....</b>                                                        | <b>18</b> |
| 2.1. Сировинні матеріали та їх підготовка до доменного процесу.....                                  | 20        |
| 2.2. Особливості технологічного процесу виробництва чавуну.....                                      | 28        |
| <b>3. Технології виробництва сталі .....</b>                                                         | <b>33</b> |
| 3.1. Характеристика сталей .....                                                                     | 33        |
| 3.2. Виробництво конверторної сталі.....                                                             | 36        |
| 3.3. Виплавка сталі мартенівським способом.....                                                      | 42        |
| 3.4. Одержання сталі у електропечах .....                                                            | 44        |
| <b>4. Виробництво коксу .....</b>                                                                    | <b>48</b> |
| <b>5. Вплив на довкілля видобутку мінеральної сировини та виробництва металів і сплавів .....</b>    | <b>54</b> |
| 5.1. Загальна характеристика впливу. Видобуток природної сировини та агломераційне виробництво ..... | 54        |
| 5.2. Коксохімічне виробництво.....                                                                   | 61        |
| 5.3. Виробництво чавуну та сталі .....                                                               | 65        |
| 5.3.1. Доменне виробництво.....                                                                      | 65        |
| 5.3.2. Виробництво сталі.....                                                                        | 71        |
| <b>6. Одержання деяких кольорових металів .....</b>                                                  | <b>79</b> |
| 6.1. Виробництво алюмінію .....                                                                      | 79        |
| 6.2. Одержання титану .....                                                                          | 83        |
| 6.3. Виробництво магнію .....                                                                        | 86        |
| <i>Контрольні питання та завдання до розділу.....</i>                                                | <i>90</i> |

|                                                                                                            |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Рекомендована література</i> .....                                                                      | 92  |
| <b>ЧАСТИНА 2.</b>                                                                                          |     |
| <b>ПАЛИВНО-ЕНЕРГЕТИЧНИЙ КОМПЛЕКС</b> .....                                                                 | 97  |
| <b>7. Загальна характеристика паливно-енергетичного комплексу України</b> ..                               | 97  |
| <b>8. Вугледобування та вуглезбагачення</b> .....                                                          | 101 |
| 8.1 Основні характеристики вугілля .....                                                                   | 101 |
| 8.2. Збагачення вугілля .....                                                                              | 105 |
| 8.3. Переробка вугілля з одержанням продуктів енергетичного застосування .....                             | 108 |
| 8.4. Вплив діяльності вугільних підприємств на довкілля та заходи з охорони навколишнього середовища ..... | 116 |
| <b>9. Нафтогазові технології</b> .....                                                                     | 120 |
| 9.1. Підготовка нафти до переробки.....                                                                    | 120 |
| 9.2. Процеси переробки нафти на нафтопереробних заводах .....                                              | 125 |
| 9.3. Нетрадиційна нафта та її види .....                                                                   | 135 |
| 9.4. Природний газ та альтернативні види газового палива .....                                             | 137 |
| 9.5. Вплив нафтогазової промисловості на довкілля.....                                                     | 145 |
| <i>Контрольні питання та завдання до розділу</i> .....                                                     | 150 |
| <i>Рекомендована література</i> .....                                                                      | 151 |
| <b>ЧАСТИНА 3.</b>                                                                                          |     |
| <b>ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА</b> .....                                                                             | 155 |
| <b>10. Теплові електричні станції</b> .....                                                                | 155 |
| 10.1. Технологічний процес виробництва енергії на теплових станціях .....                                  | 155 |
| 10.2. Зменшення забруднення довкілля від діяльності ТЕС.....                                               | 162 |
| 10.2.1. Захист атмосферного повітря.....                                                                   | 162 |
| 10.2.2. Стічні води електростанцій та їх очищення .....                                                    | 172 |
| 10.2.3. Утилізація золошлакових відходів ТЕС .....                                                         | 179 |
| <b>11. Виробництво електричної енергії на атомних електростанціях</b> .....                                | 181 |
| <b>12. Відновлювальна енергетика</b> .....                                                                 | 186 |
| 12.1. Вітрова енергетика .....                                                                             | 186 |

|                                                                          |            |
|--------------------------------------------------------------------------|------------|
| 12.2. Сонячна енергетика.....                                            | 194        |
| 12.2.1. Сонячні фотоперетворювачі та екологічність їх виготовлення ..... | 195        |
| 12.2.2. Геліотермальна енергетика .....                                  | 201        |
| <i>Контрольні питання та завдання до розділу.....</i>                    | <i>205</i> |
| <i>Рекомендована література.....</i>                                     | <i>206</i> |

## ВСТУП

Технології та техніка займають надзвичайно важливе місце у соціально-економічній сфері суспільства та впливають на благополуччя людей. Водночас технологічні процеси у промисловості пов'язуються з потужним техногенним навантаженням на навколишнє середовище, яке залежить від досконалості ведення технологічних процесів. Сучасні технології передбачають зменшення ресурсо- і енергоємності виробництва та зведення до мінімуму обсягів утворення забруднюючих речовин шляхом запровадження інноваційних рішень. Значна роль у попередженні забруднення довкілля відводиться технологіям очистки викидів, скидів та утилізації відходів, до яких також ставляться інноваційні вимоги.

Дисципліна «Системи технологій та промислова екологія» направлена на вивчення основних сучасних технологій виробництва продукції, що здійснюють негативний вплив на навколишнє середовище. При цьому передбачається акцент на джерела утворення забруднюючих речовин та операції, які пов'язуються з використанням природних ресурсів, продукуванням відходів та споживанням значної кількості енергії.

Дана дисципліна є базовою у професійній підготовці екологів за освітньою програмою «Інженерна екологія» бакалаврського рівня вищої освіти. Вона направлена на одержання компетенцій щодо оцінки впливу процесів техногенезу на стан навколишнього середовища та виявлення екологічних ризиків, пов'язаних з виробничою діяльністю, а також на одержання програмних результатів щодо прогнозування впливу технологічних процесів та виробництв на навколишнє середовище. Дисципліна знаходиться у структурно-логічному зв'язку з іншими дисциплінами професійного напрямку, предметом яких є різного роду технології знешкодження та утилізації компонентів газових викидів, а також технології утилізації твердих відходів, проектування природоохоронних комплексів та ін.

У навчальному посібнику розглядаються основні технологічні процеси,

що відносяться до галузей сучасного металургійного та паливно-енергетичного комплексів України. Металургійні та енергетичні підприємства, які входять у їх склад, споживають великі обсяги природних ресурсів та є потужними забруднювачами навколишнього середовища. Щорічно підприємствами комплексів у атмосферне повітря викидаються тисячі тонн забруднюючих речовин та млн м<sup>3</sup> забруднених скидів. Зважаючи на це, у посібнику поєднуються питання технології виробництва продукції або надання послуг з технологіями захисту довкілля, а також розглядаються інші питання з охорони навколишнього середовища, які направлені на підвищення рівня екологічної безпеки діяльності підприємств.

Інформація, що представляється у навчальному посібнику, може бути використана студентами для поглибленого вивчення лекційного курсу «Системи технологій та промислова екологія», а також при виконанні самостійної роботи у формі рефератів, курсових робіт, проектів, а також випускних робіт за освітньою програмою «Інженерна екологія».

## **Частина 1. ВИРОБНИЦТВО МЕТАЛІВ ТА ЇХ СПЛАВІВ**

### **1. Металургійний комплекс. Метали та сплави**

#### **1.1. Структура та сучасний стан металургійного комплексу України**

Металургія ( від грецького *metallurgeo* – обробляю метали, видобуваю руду) – галузь науки, техніки та промисловості, першочерговою задачею якої є первинне отримання металів із руд та іншої сировини. Цьому відповідає вузьке значення металургії. Металургія також пов'язується з процесами, що супроводжуються зміною хімічного складу, структури, властивостей металевих сплавів.

Основною продукцією чорної металургії є чавуни, феросплави, сталеві та ковальські зливки. Продукція кольорової металургії представлена зливками для сортового прокату, фасонних відливань, зливками чистих і особливо чистих металів та ін.

На рис. 1.1 приведена схема структури металургійного комплексу України.

В цілому у металургійний комплекс України входять підгалузі і виробництва, які забезпечують одержання металевої продукції. Вони включають:

- видобуток, збагачення і агломерацію залізних, марганцевих та інших руд;
- виробництво чавуну, доменних феросплавів сталі і прокату;
- виробництво електроферосплавів;
- повторна переробка чорних металів;
- коксування кам'яного вугілля;
- видобуток сировини і виробництво вогнетривких будівельних матеріалів (глин, доломітів та ін.), а також флюсових вапняків та ін.

Металургійні підприємства поділяють на такі види:

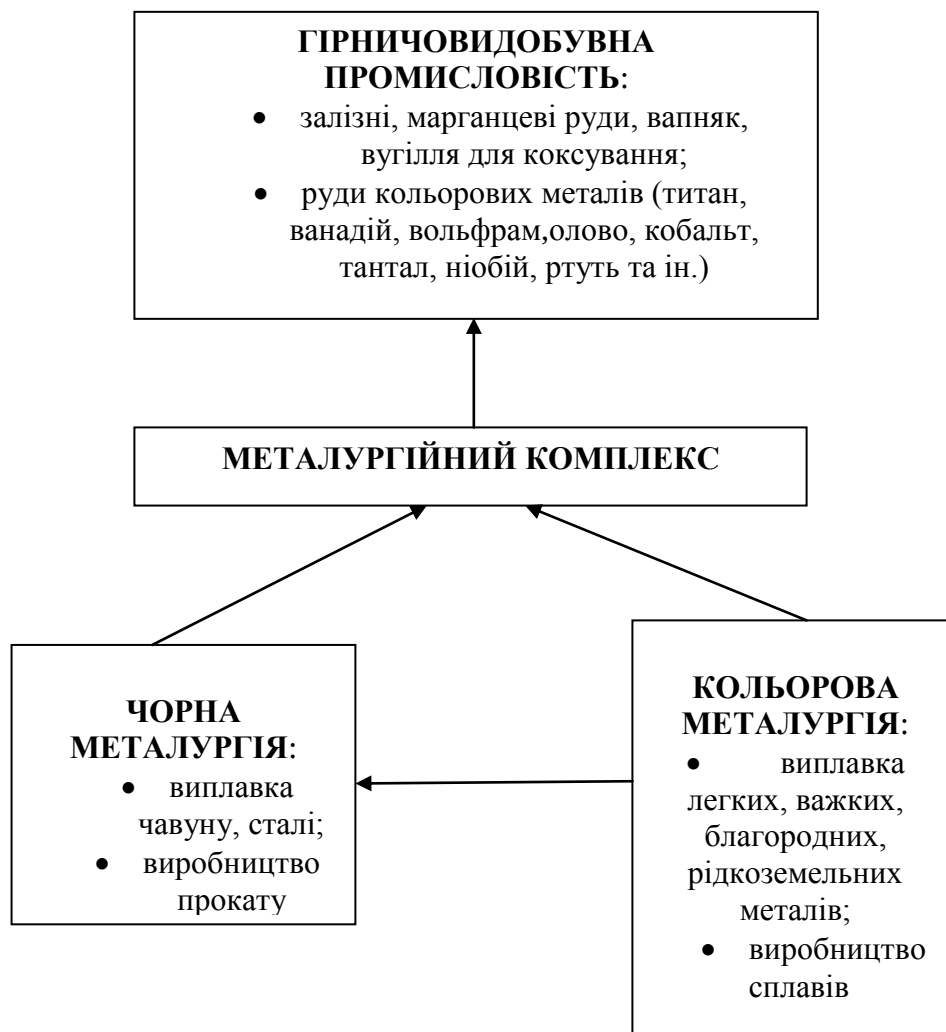


Рис. 1.1 – Структура металургійного комплексу

- підприємства повного металургійного циклу, що включають доменне, сталеплавильне та прокатне;
- підприємства неповного металургійного циклу зі сталеплавильним та (або) прокатним виробництвом;
- металургійні комбінати, які крім основних виробництв, включають гірничорудні цехи, агломераційні фабрики, коксохімічні заводи, заводи переробки основних продуктів;
- комбіновані підприємства, що містять як основні виробництва, так і металообробні, машинобудівні, транспортні і ін.

Комбінати повного циклу в Україні розміщуються у Придніпров'ї, Приазов'ї та Донбасі. У Придніпров'ї виплавляється половина українських чавуну та сталі.

Слід зазначити, що підприємства, які не виплавляють чавун, належать до переробної металургії. Мають місце підприємства, які виробляють феросплави, а на великих машинобудівних підприємствах у рамках «малої металургії» виплавляють сталь та виготовляють прокат. Але зважаючи на спад виробництва продукції на машинобудівних підприємствах, в останні роки функціонування «малої металургії» дещо зменшилось.

Металургія відноситься до базового сектору, що впливає на розвиток світової економіки. При цьому вона є ключовою галуззю країн, стан та тенденції якої визначають технічний прогрес будь-якої галузі національного господарства та впливають на добробут населення. Тому усі промислово розвинені країни ЄС, США, Японія, Корея та ін. розвивають металургійні галузі та наукові дослідження, у тому числі щодо інноваційних сплавів та композитних матеріалів.

У розрахунку на чисте залізо розвідані балансові запаси залізної руди у світі станом на 2007 рік складають 79 млрд. т або 12 т на душу населення Землі. Найбільші поклади знаходяться у Бразилії, Росії, Україні, Австралії та Китаї. У розрахунку на душу населення лідерами за резервами є Австралія (440 т), Швеція (240 т), Казахстан (220 т) та Україна (190 т). Наявні запаси руди в Україні є дуже суттєвими та дозволяють прогнозувати подальший розвиток металургії в країні.

В Україні зосереджена унікальна сировинна база не тільки залізних, але і марганцевих руд, загальні запаси яких в Україні становлять 2,5 млрд т (42,3% світових). Крім того, Україна володіє найбільшими в Європі ресурсами кам'яного вугілля – понад 55 млрд. т достовірних та 120 млрд. т розвіданих запасів. 97% з них знаходяться в Донецькому вугільному басейні. З цих ресурсів лише 12–15% припадає на коксівні марки. Існує дефіцит коксівного

вугілля, що традиційно пов'язується з наявністю в українському вугіллі сірки (до 3,5%), а у теперішній час – з ситуацією на сході країни.

Таким чином, наявність вітчизняної мінеральної бази дозволяє Україні входити до числа країн з найбільш розвинутою чорною металургією.

Гірничо-металургійний комплекс об'єднує 365 підприємств і організацій, в т.ч. металургійні комбінати і заводи, трубні заводи, підприємства металовиробів, коксохімічні заводи, заводи по випуску вогнетривів, гірничорудні підприємства, феросплавні заводи, підприємства по випуску кольорових, рідкісних і благородних металів, а також ремонтно-будівельні організації, науково-дослідні і проектні інститути.

У 2008 р. Україна посідала 7 місце за обсягом виробництва сталі і 3 місце – за обсягом експорту металопродукції, а на протязі останніх років стабільно замикала десятку найпотужніших виробників сталі. Але внаслідок збройного конфлікту на сході держави та анексії Автономної Республіки Крим галузь втратила потужності Алчевського, Єнакієвського, Макіївського та Донецького металургійних заводів, ринки збуту та сировини. Згідно даних Укрінформ за підсумками 2019 року Україна посіла десяте місце в світі з виробництва чавуну з показником 20,06 млн.т, а згідно інформації Worldsteel – 13-е місце у рейтингу виробників сталі після Тайваню. Перша ж десятка країн – виробників сталі за підсумками грудня 2019 р. виглядає наступним чином: Китай (зростання на 11,6%), Індія (падіння на 0,8%), Японія (падіння на 8%), США (падіння на 0,3%), РФ (падіння на 3%), Південна Корея (падіння на 4,7%), Туреччина (зростання на 0,2%), Німеччина (падіння на 11,7%), Іран (зростання на 40%) і Бразилія (падіння на 10,8%). Далі йдуть Тайвань (падіння на 14,6%), Україна (1,561 млн.т, падіння на 17,2%), В'єтнам (зростання на 18,4%), Мексика (падіння на 7,3%) і Італія (падіння на 17,2%).

Найбільшими металургійними заводами є гірничо-металургійний комбінат "Арселор Міттал Кривий Ріг", який належить міжнародній корпорації ArcelorMittal, "Азовсталь" та ММК імені Ілліча, що входять у міжнародну групу компаній "Метінвест".

В Україні металургія відноситься до основної галузі, що наповнює державний бюджет, та продаж продукції якої за кордон забезпечує найбільші валютні надходження. Частка металургії у ВВП країни становить близько 38%, у промисловому виробництві – 27,3%, експорті – 34,2%.

Найбільшими споживачами металопродукції на внутрішньому ринку України є безпосередньо сама металургія, що пов'язана з виробництвом труб та металевих виробів промислового і широкого призначення, а також металотрейдери. Вони у сукупності споживають понад 55 % виробленого в Україні металу. При цьому у структурі внутрішнього споживання металопродукції досить низькою є частка машинобудування, автомобілебудування, металообробної та будівельної галузей.

Найважливішими проблемами металургійної галузі слід вважати наступні.

*1. Технічна та технологічна відсталість, висока енерго- та ресурсоємність виробництва металопродукції*

Лише третина технологічних схем металургійних процесів відповідає світовим показникам. Матеріалоємність виробництва металургійної продукції в Україні на 5–7% вище, а енергоємність на 25–30% більше ніж у розвинених країнах. Найбільш енергоємним залишається мартенівське виробництво сталі, при якому витрати енергоресурсів майже у 5 разів, а природного газу – у 15 разів вище, ніж при конвертерному виробництві. Щорічно вітчизняна металургія споживає 6–7 млрд. куб. м газу, тоді як більшість світових виробників вже давно відмовилися від використання цього енергоносія, впровадивши технології пилувугільного палива. Крім того, споживання коксу на тонну виплавленого чавуну в Україні складає 500– 550 кг, тоді як середня норма в світі становить 270–300 кг.

*2. Незабезпеченість металургійних підприємств сировиною.* Значний негативний вплив на роботу підприємств металургійної галузі спричинило виникнення дефіциту сировини внаслідок порушення виробничих зв'язків із підприємствами, розташованими на окупованих територіях сходу України, а також значне збільшення експорту з України металобрухту. Зокрема, нестача

металобрухту перешкоджає розвитку в Україні електрометалургії – швидкоокупних міні заводів з неповним циклом, які працюють на металобрухті.

*3. Нерозвиненість внутрішньогалузевої та міжгалузевої кооперації.* Це призводить до незбалансованості виробництва, зростання вартості та зниження якості таких сировинних ресурсів як залізорудна сировина, кокс через домінування на сировинних ринках декількох компаній, а також до недостатнього використання потенціалу внутрішнього ринку споживання металургійної продукції.

*4. Відсутність системної державної підтримки галузі та недостатність механізмів захисту вітчизняних виробників.*

*5. Руйнування виробничих потужностей внаслідок бойових дій на Донбасі.*

У світі спостерігається поступова зміна структури технології виплавки сталі. Позитивна динаміка у структурі виробництва сталі в світі простежується за часткою киснево-конвертерного способу. За період з 2001 р. по 2015 р. питома вага сталі, яка вироблена у конвертері, збільшилась на 14,9%. Частка сталі, яка виплавлена в електросталеплавильних і мартенівських печах, за аналогічний період скоротилась відповідно на 8,5% та 6,4%. При цьому технологія виробництва сталі у мартенівських печах використовувалась виключно у країнах колишнього СРСР та Індії (в середньому у світі – 0,6%).

Найбільших енерговитратним є мартенівське виробництво сталі, використання якого збільшує порівняно з конвертерним виробництвом витрати енергоресурсів на 5%, а природного газу – на 15%. На виплавку однієї тонни сталі у мартенівських печах витрачається близько 95 кубічних метрів природного газу, а в конвертерах – до 8 кубічних метрів.

Мартени в Україні застаріли й фізично. З перевищенням нормативних термінів експлуатується близько 80% мартенівських печей. Частка застарілих конвертерів становить 26%. Виведення з експлуатації значної частини підприємств, розміщених на Донбасі, суттєво гальмує повне переоснащення галузі.

В Україні спостерігається незначне збільшення частки електросталеплавильного виробництва (в межах 2,8–5,6%). При цьому середній рівень частки електросталеплавильного виробництва за всіма країнами-виробниками у 2015 р. перевищив 25%. Зокрема, у Японії він становив 23,2%, Росії – 30,6%, Німеччині – 30,4%, Південній Кореї – 33,9%, США – 62,6%, Індії – 57,5%, Туреччині – 69,8%.

Киснево-конвертерний спосіб виплавки сталі є найпоширенішим у світі і у 2015 р. частка сталі, виробленої у конвертерах, становила 74,2%. Швидке розповсюдження конвертерного способу виплавки сталі забезпечене перевагами його використання, до яких відносяться: висока продуктивність; екологічність; простота управління; гнучкість технологічних варіантів і сировинної бази; можливість виробництва широкого асортименту високоякісної сталі з чавуну різного хімічного складу; переробка відносно великого обсягу лому та ін.

Разом зі значним вкладом у економіку країни, українські металургійні підприємства наносять велику шкоду навколишньому середовищу. У цьому зв'язку доцільним є впровадження на українських підприємствах маловідходних технологічних процесів, удосконалення методів утилізації шкідливих речовин, а також комплексного використання природних ресурсів.

Новим напрямком у металургії є запровадження смарт-виробництв. Безсумнівним позитивним результатом смартизації металургійної промисловості виступає підвищення її ресурсефективності й екологічності.

У теперішній час у виробництві чавуну та сталі виділяються наступні найкращі доступні технології:

- виробництво й переробка сталі з використанням киснево-конверторного процесу, в тому числі ківшова сіроочистка, ківшова металургія та переробка шлаків;

- виробництво сталі в електродугових печах, зокрема з використанням ківшової металургії й переробки шлаків;
- безперервне лиття.

В Україні повільно проходить перехід до вироблення сталі за технологією безперервного лиття. На період 2015 р. обсяги виробництва за цією технологією склали 51,1% (в Індії – 81,5 %, Німеччині – 96,9%, Південній Кореї – 98,4%, Японії – 98,5%, Китаї та США – 98,8%, Туреччині – 100%).

Метод безперервного лиття сталі через «шлакове переплавлення» дозволяє відмовитись у необхідності у коксохімічних заводах і доменних печах.

Кольорова металургія в Україні менш розвинена ніж чорна і складається з деяких виробництв, так як в країні є незначні запаси сировини. Діючи в Україні підприємства з випуску кольорових металів і виробів з них частково задовольняють внутрішні потреби країни і створюють певний експортний потенціал (в основному це алюміній, мідь, титан і низка інших металів і виробів). У структурі українського експорту металургійної продукції частка кольорової металургії не перевищує 3,7%.

В Україні створена надійна та потужна мінерально-сировинна база титану, яка базується на унікальних великих родовищах розсипних і корінних руд. Країна має великий потенціал для розвитку та функціонування титанової галузі, що представлена сировинними і промисловими підприємствами. Виробляються ільменітові й рутилові концентрати,  $TiO_2$ , титанова губка, металічний титан і вироби з нього. Країна є одним із провідних світових імпортерів титанових сплавів, включаючи відходи і брухт.

За своїми резервами Україна входить до країн світу, що мають великі родовища ільменіту і рутилу. За оцінками світових експертів, країна має десяти за розміром у світі поклади ільменіту (1% від світових запасів) і п'яті рутилу (6% від світових запасів). При цьому Україна входить в сімку найбільших виробників ільменіту і рутилу в світі.

Україна є провідною країною за рівнем споживання та виробництва марганцевої продукції, а саме: феромарганцю, силікомарганцю, металічного марганцю. Розробка родовищ руд марганцю на території України характеризується діяльністю трьох основних підприємств: ПАТ «Покровський гірничо-збагачувальний комбінат», ПАТ «Марганецький гірничо-збагачувальний комбінат» та ТОВ «Ландшафт».

## 1.2. Характеристика металів та сплавів

Метали являють собою хімічні елементи та речовини, які володіють унікальними фізичними та хімічними характеристиками, що дозволяє їм широко використовуватись у різних сферах людської діяльності. Вони дуже різномірні і складають близько 80% всіх відомих хімічних елементів. Традиційно метали поділяють на чорні та кольорові, причому група кольорових металів найбільш численна за видами. Класифікація металів по групам та підгрупам приведена в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Класифікація металів

| Група            | Підгрупа      | Метали                                                        |
|------------------|---------------|---------------------------------------------------------------|
| Чорні метали     |               | Mn, Cr, Fe та його сплави – чавуни і сталі                    |
| Кольорові метали | Важкі         | Cu, Ni, Pb, Zn, Sn                                            |
|                  | Легкі         | Al, Mg, Ti, Be, Ca, Sr, Ba, Li, Na, K, Rb, Cs                 |
|                  | Малі          | Co, Cd, Sb, Bi, Hg, As                                        |
|                  | Благородні    | Au, Ag, Pt, Os, Ru, Rh, Pd                                    |
|                  | Тугоплавкі    | W, Mo, V, Ta, Nb, Cr, Mn, Zr                                  |
|                  | Рідкоземельні | Sc, Y, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Yb, Dy, Ho, Er, Tu, Lu |
|                  | Розсіяні      | Ge, Ga, Tl, Re, Hf, Se, Te                                    |
|                  | Радіоактивні  | U, Th, Po, Ra                                                 |

Чорні метали звичайно мають темно-сірий колір і характеризуються великою густиною, високою температурою плавлення, відносно високою твердістю. Кольорові метали – це метали червоного, жовтого, білого відтінку. Важкі кольорові метали мають густину понад  $5000 \text{ кг/м}^3$ , у легких же металів густина менша за це значення. Легкоплавкі метали відрізняються тим, що їх температура плавлення не перевищує  $1500^\circ\text{C}$ , а тугоплавкі метали мають температуру плавлення понад  $1500^\circ\text{C}$ . Відзначальною характеристикою рідкісних металів є те, що їх концентрація у земній корі дуже низька. Розсіяні елементи присутні в рудах у якості домішок і не утворюють самостійних мінералів. Особливою хімічною стійкістю відрізняються метали благородної групи: золото, срібло, платина та ін.

У мінералах, рудах, гірських породах можуть знаходитись декілька металів. У цьому зв'язку метали поєднують у групи: лужні метали (Li, Na, K, Rb, Cs, Fr), лужноземельні метали (Ca, Sr, Ba, Ra), сімейство заліза (Fe, Co, Ni), сімейство платинових металів (Ru, Os, Pd, Rh, Ir, Pt), рідкоземельні (Sc, Y, La та 14 елементів сімейства лантановидів), лантановиди та актиновиди.

Метали одержують із металовмісних мінералів, що входять до складу гірських порід (руди) у формі оксидів та подвійних оксидів, сульфідів, галогенідів, солей кисневмісних кислот. Благородні метали містяться у вигляді самородків.

Чисті метали у техніці використовуються обмежено, так як міцніть, твердість та електричні характеристики поступаються їх сплавам. Тому металеві сплави – основа багатьох конструкційних матеріалів. *Сплав* або *стоп* – тверда чи рідка однорідна речовина, утворена сплавленням (стоппленням) кількох металів або металів з неметалами. У твердому стані всі сплави мають кристалічну будову, яка є складнішою ніж у металів.

Сплави виготовляють з металів, наприклад як латунь, та металів і невеликої кількості неметалів – як чавун і сталь. Класифікація сплавів проводиться за такими ознаками:

- кількістю компонентів (подвійні, потрійні та ін.);

- числом фаз (однофазні у вигляді твердого розчину та інтерметалевих сполук), а також багатофазні;
- за металом основи. За цією ознакою виділяють сплави чорних металів (чавуни та сталі) і сплави кольорових металів, що представляються сплавами титану, алюмінію та ін.

Досить широкою є класифікація сплавів за властивостями. Виділяють сплави жароміцні та жаротривкі, термоманітні, антифрикційні і ювелірні, луго- і кислотостійкі, а також прецизійні, що мають особливі фізичні властивості. Класифікують сплави і на легкі, та легкоплавкі, тверді і тугоплавкі, ливарні, порошкові і деформівні.

## **2. Технологія виробництва чавуну**

Одним із самих важливих первинних продуктів чорної металургії є чавун, який у порівнянні зі сталлю має меншу ціну. Його використовують для переробки у сталь та у чавуноливарному виробництві. Незважаючи на відносну крихкість, широкому використанню чавуну в машинобудуванні сприяють його міцність, зносостійкість та добрі ливарні якості. На долю литих деталей в середньому приходить 50-70% маси машинобудівного виробу і 70% вартості машини.

*Чавун* – високовуглецевий нековкий сплав заліза з вуглецем. Вміст вуглецю у чавуні складає 2,14 – 6,3%, але звичайно використовуються чавуни з вмістом 3 – 4,5% вуглецю. Якщо у сплаві вуглецю буде менше 2,14%, то цей сплав являє собою сталь. Чавун, що виплавляється у домнах, крім вуглецю містить домішки марганцю (до 3%), кремнію (до 4,5 %), сірки (не більше 0,12 %), фосфору (до 2,5%). У деяких випадках для поліпшення фізичних та хімічних властивостей при плавлі у чавун добавляють легуючі елементи (хром, нікель, алюміній та інші).

Чавун класифікується: за способом виробництва на переробний та ливарний; за станом вуглецю, який існує у формі цементиту  $\text{Fe}_3\text{C}$  чи графіту на білий, сірий, високоміцний та ковкий чавун; за хімічним складом на легований

та нелегований; за технологію одержання на звичайний та модифікований. Також чавун класифікують за формою графітних включень, за типом структури металевої основи, за призначенням. За призначенням чавун поділяють на конструкційний чавун загального призначення (сірий, високоміцний, ковкий) та чавун зі спеціальними властивостями (корозійностійкий, жаростійкий та жароміцний, зносостійкий, антифрикційний), а також спеціальний чавун (частіше легований).

Чавуни маркуються поєднанням букв та цифр. Так, наприклад, СЧ15 – це сірий (буква «С») чавун (буква «Ч»), який має тимчасовий опір при розтягуванні 150МПа; ЧН20Д2ХШ – жароміцний високолегований чавун, що містить нікелю 20%, 2% міді, 1% хрому, решта – залізо, вуглець, форма графіту – куляста.

Виплавку чавуну здійснюють у доменних печах, вагранках та електропечах. У доменному виробництві виплавляють три види чавунів – переробний, ливарний і спеціальний (феросплави). Переробний та спеціальний чавун використовують для наступної виплавки сталі. *Переробний чавун*, в основному, виплавляється такого складу: 3– 4% С; 0,3 – 1,3% Si; 0,8 – 1,2% Mn; до 0,3% Р і 0,07% S. Його особливістю є те, що вуглець в ньому знаходиться у вигляді цементиту і на зламі має білий відтінок. Від цього такий чавун ще називають білим. *Спеціальний чавун* (феросплав) являє собою сплав заліза із значним вмістом Si, Mn, Cr та інших елементів. Феросплави використовують при виплавці сталі для розкислювання та легування рідкого металу, скріплення шкідливих домішок, а також надання металу необхідних властивостей.

*Ливарні чавуни* призначені для одержання фасонного литва і відзначаються підвищеним вмістом кремнію (до 3,6%). За рахунок пластинчатого графіту на зламі вони мають сірий відтінок і від того називаються сірими.

У вагранках та електропечах здійснюють переплавку ливарних чавунів. Зважаючи на добрі ливарні якості (рідиннотекучість та мала усадка) біля 20% чавунів використовуються для одержання відливок.

## 2.1. Сировинні матеріали та їх підготовка до доменного процесу

Сировиною та матеріалами, що використовуються для виробництва чавуну, є залізні руди (збагачені до агломерату або окатишів), флюси, паливо та вогнетривкі матеріали. Залізородна сировина, а також паливо, флюс, що загрузаються у доменну піч, називаються *шихтою* або шихтовими матеріалами.

Від якості підготовки сировини та матеріалів залежить якість чавуну, який виплавляється. При цьому виконується вимога щодо крупності матеріалів: шматки повинні бути розміром 30 – 100 мм.

Основна сировина для одержання чавуну – *залізні руди*, що складаються із рудної речовини та пустої породи. Промислові руди – це руди, з яких доцільно видаляти метали та їх сполуки, тому цінність залізної руди визначається вмістом у ній заліза. Звичайно такі руди містять не менше 30 – 60% заліза, яке знаходиться у вигляді його оксидів, карбонатів та силікатів. Якщо руди бідні, то для їх використання у виробництві чавуну збагачують, тобто видаляють з них частину пустої породи. Пуста ж порода представлена кварцитом, пісчаником, частково глинистими речовинами, рідко доломітом та вапняком. Руда, крім заліза, також містить нікель, ванадій, миш'як, кобальт та інші елементи, у тому числі шкідливі домішки у вигляді фосфору та сірки, які погіршують властивості чавуну.

У металургії чавуну використовують такі види залізних руд: магнітний залізняк, червоний залізняк, бурий залізняк, шпатовий залізняк, залістисті кварцити. Слово «залізняк» – це загальна назва оксидів заліза.

*Магнітний залізняк* або магнетит у своєму складі має 40-70 % оксидів заліза ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) та виділяється серед інших руд значними магнітними властивостями. *Червоний залізняк* або гематит містить залізо у безводній формі ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) з концентрацією 45 – 65% та незначну кількість домішок. *Бурій залізняк* або болотна руда – це природне скупчення гідроксидів заліза ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ). Руда має багато шкідливих домішок. *Шпатовий залізняк*

(сидерит) містить залізо у вигляді  $\text{FeCO}_3$ . В руді концентрація заліза складає 30-42%. Застосування такої руди є обмеженим. У якості промислової залізної руди *залізисті кварцити* використовуються при вмісті заліза 25–30%. Кварцити Криворізького залізорудного басейну в середньому містять 32,5% заліза.

При виробництві феромарганцю та дзеркального чавуну у шихту додають марганцеві руди, які містять від 25 до 45% оксидів мангану.

Залізні руди, що направляються у доменний процес, звичайно підлягають збагаченню, так як за умови раціонального ведення плавки масова частка заліза в шихті повинна бути не менше ніж 60 %. З урахуванням цього збагаченню підлягають близько 90 % залізних руд. Кондиційні концентрати містять до 70% заліза.

*Збагаченням* називається процес, у результаті якого вміст заліза збільшується або зменшується кількість шкідливих домішок у руді. Позитивним є те, що збагачення руд сприяє підвищенню вмісту заліза у шихті, умовам відновлення заліза та зменшує витрати коксу і утворення шлаку при плавці. Чим вище концентрація заліза у концентраті ( продукт збагачення) та менше його у відходах (хвостах), тим ефективніше пройшов процес збагачення.

Залізні руди відрізняються мінеральним складом, фізико-механічними властивостями та текстурно-структурними особливостями, що потребує застосування різних технологій збагачення. Разом з тим, всі способи збагачення засновані на відмінностях рудного матеріалу та пустої породи (магнітні властивості, змочуваність, щільність та ін.).

Залізні руди класифікують на агломераційні, мартенівські та доменні руди. В залежності від мінерального складу та текстурно-структурних особливостей руди поділяють на легко збагачувальні та важко збагачувальні. До легко збагачуваних руд належать магнетитові руди і магнетитові кварцити, до важко збагачуваних – залізні руди, що мають надто дрібні розміри і тонке пророщення з нерудними мінералами.

Збагачення залізних руд здійснюється за магнітними, магнітно-гравітаційними і магнітно-флотаційними технологічними схемами. Промивання

руд водою дозволяє відокремити від залізної руди частину піщано-глинистої пустої породи. Основний метод збагачення магнетитових руд – це *магнітна сепарація*. Вона заснована на використанні відмінності в магнітних властивостях компонентів суміші величиною часток від мікрона до 150 мм в неоднорідному постійному або змінному магнітному полях.

Магнітний сепаратор шківного типу (рис. 2.1) складається з двох стрічкових конвеєрів. Усередині верхнього конвеєра є електромагніт. Куски руди 1, які надходять на живильну стрічку 2 нижнього конвеєра, проходячи крізь магнітне поле, намагнічуються і прилипають до збиральної стрічки 3 верхнього конвеєра, а куски пустої породи (немагнітна фракція 5) вільно падають зі стрічки нижнього конвеєра. У результаті збагачення одержують концентрат 4 – продукт з підвищеним вмістом заліза.

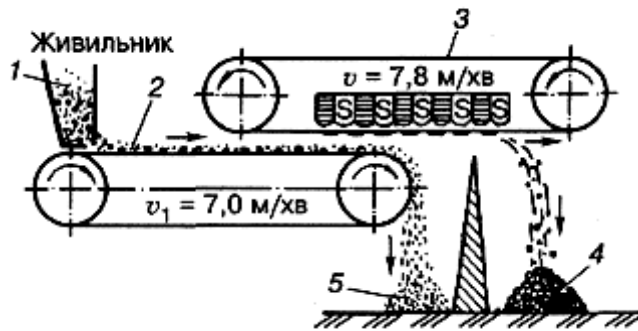


Рис.2.1 – Магнітний сепаратор шківного типу

1–куски руди; 2 – живильна стрічка; 3 –збиральна стрічка; 4 –продукт збагачення.

Перед магнітною сепарацією проводиться підготовка руди, що включає операції дроблення, подрібнення, грохочення, знешламлення і знепилення, намагнічування і розмагнічування, сушки і випалу.

В загальному значенні *дроблення і подрібнення* – технологічна операція та процес руйнування і зменшення розмірів грудок мінеральної сировини під дією зовнішніх механічних, теплових, електричних сил, направлених на подолання внутрішніх сил зчеплення, що зв'язують між собою частинки твердого тіла.

*Грохочення* застосовуються з метою розділення руди на продукти різної крупності. Воно здійснюється розсіванням корисної копалини на решетах і

ситах з каліброваними отворами на дрібний (підрешітний) продукт і крупний (надрешітний).

Збагачення залізистих кварцитів здійснюють магнітною сепарацією в слабкому магнітному полі, а буро залізнякові руди збагачують за комбінованими гравітаційно-магнітними схемами. Збагачення гематитових руд проводять за магнітними, гравітаційними, флотаційними, випало-магнітними і комбінованими схемами.

*Флотація* базується на відмінностях у поверхневих фізико-хімічних властивостях різних мінералів, що обумовлює їх різну змочуваність і вибірккову здатність деяких мінералів до закріплення на поверхні розділу фаз. Процес у своєму класичному варіанті ґрунтується на вибіркового спливанні частинок корисної копалини на поверхню разом з бульбашками повітря.

За кордоном удосконалення технології збагачення залізних руд здійснюється шляхом комбінування технологічних схем. Чорновий концентрат отримують за схемами з магнітною сепарацією і потім для доведення використовують спеціальні методи збагачення. Серед таких методів можна виділити: промивання, відсадження, збагачення на концентраційних столах, гвинтових сепараторах і у важких суспензіях, магнітне збагачення, флотацію і флотогравітацію.

Крім руд, у доменному процесі використовують офлюсований агломерат і офлюсовані окатиші, а також прокатну окалину, металобрухт. У легованих чавунах застосовують хром, нікель, алюміній, ванадій, титан.

Важливою ресурсозберігаючою задачею у підготовці сировинних матеріалів доменного виробництва є використання дріб'язку руд. Для цього застосовують агломерацію чи обкатування.

*Агломерація* – це метод термічного окускування пилюватих мілких руд, концентратів та відходів, що містять метал, шляхом їх спікання. У цьому процесі мілкий рудний концентрат перетворюється у крупні куски, який і є агломератом. У склад агломераційної шихти, крім концентрату, можуть входити колошниковий пил, вапняк, коксовий дріб'язок, недостатньо спечений

агломерат, який направляється на спікання. Можлива така комбінація складових у суміші для спікання: руда (40–50 %), вапняк (15–20 %), дрібний агломерат і кокс.

Для здійснення агломерації використовують різні способи, але найбільш поширеним є застосування агломераційних машин (як правило, безперервної дії). В них проходить процес горіння палива, в результаті чого температура в шарі шихти становить 1300 – 1600°C. При цьому з руди видаляється частина домішок, розкладаються карбонати і утворюється пористий офлюсований агломерат. Продуктивність печей, що працюють з використанням такого агломерату, підвищується на 10–15%, а витрати коксу – на 10–20%. Позитивним явищем при цьому є вигорання сірки з агломераційної суміші, яка виділяється у вигляді сірчистого газу.

Агломераційна машина стрічкового типу (рис. 2.2) складається з великої кількості візків з боковими бортами і колосниками замість дна, що рухаються напрямними рейками. У завантаженому візку після запалювання газовими пальниками починається горіння палива, причому горіння поширюється зверху вниз. Повітря просочується крізь шар шихти завдяки дії спеціальних вакуумних пристроїв.

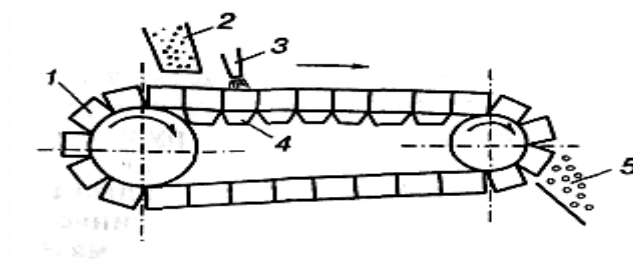


Рис.2.2 – Схема агломераційної машини

1– візки; 2 – шихтовий бункер; 3 – пальник; 4 – вакуум камери; 5 – агломерат

Крім агломерату, при плавці використовують офлюсовані окатиші, які одержують з тонкоподрібненого концентрату з розміром фракції менше 0,5 мм, вапняку (флюс) та звороту, тобто відбракованих окатишів. Шихту зволожують до 8-10% і додають невелику кількість зв'язуючого, у якості якого

використовується бентонітова глина. Сирі окатиші діаметром 20–30 мм отримують у обертових барабанах, або в конусних чи тарілчастих грануляторах. Сушка окатишів проходить при 200–400°C. Після цього для придання високої міцності їх випалюють при 1300–1400°C. Охолоджені окатиші сортирують на грохоті, а фракції менше 10 мм повертають на переробку. Це так званий зворот.

Для зниження температури плавлення пустої породи, яка міститься у руді, і надання доменному шлаку необхідного хімічного складу і фізичних властивостей, а також очищення чавуну від сірки у доменну шихту вводять мінеральні добавки, що називаються *флюсами*. З урахуванням цього, *шлаком* буде речовина, що утворюється з пустої породи, рудних матеріалів і флюсу в процесі переробки залізної руди у доменних печах. Звичайно шлак має меншу густину ніж метал, що виплавляється, а тому розташовується над ним. Він захищає метал від взаємодії з пічними газами і повітрям.

Флюси поділяють на основні та кислі. Їх застосування визначається особливостями пустої породи. Якщо пуста порода складається із глинозему та кремнезему, то у якості основного флюсу при доменній плавці використовують вапняк, який представляється мінералом кальцитом  $\text{CaCO}_3$ . Звичайно цей мінерал містить невелику кількість кремнезему та глинозему ( $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ ), а також сірки та фосфору. При виплавці чавуну сірка видаляється і не переходить у нього, а фосфор залишається у сплаві. Якщо необхідно підвищити у шлаку вміст  $\text{MgO}$ , то як флюс використовується доломатизований вапняк – суміш кальциту  $\text{CaCO}_3$  та доломіту  $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ . У тому випадку, коли руда складається з вапняка, то як флюс використовують кремнеземисту породу.

Підготовка флюсів до плавки передбачає подрібнення у спеціальних дробарках і сортування за розміром шматків на спеціальних грохотах.

*Паливом* у доменному процесі є горючі органічні речовини. До них ставляться такі основні вимоги:

- висока теплота згоряння та висока здатність до відновлювальних реакцій, які проходять у печі;

- достатні механічна і термічна стійкість, а також неспікаємість при температурах плавки;
- мінімальна кількість сірки, фосфору, кремнезему та глинозему.

Горючою частиною палива є вуглець, водень, вуглеводні ( $C_nH_m$ ), а негорючими – мінеральні речовини та волога. При збільшенні кількості вуглецю у паливі його цінність зростає. Слід зазначити, що водень за теплою згоряння майже у чотири рази цінніший ніж вуглець. Мінеральні речовини утворюють золу, що складається із оксидів заліза, алюмінію, кальцію, кремнію та ін.

У сучасній доменній плавці використовують кокс, а також природний та доменний і коксовий газ, мазут, кам'яновугільний пил. При цьому основним видом палива залишається *кокс* – штучне тверде паливо, що одержують при коксуванні вугілля шляхом видалення з нього летких речовин без доступу повітря. У доменній печі кокс є джерелом теплоти й створення відновлювальної атмосфери й повинен мати велику реакційну здатність.

Кокс являє собою пористе тіло, що при русі по об'єму домни зверзу вниз зберігає свою форму та сприяє проходженню газів. Крім того, кокс, що знаходиться у нижній частині печі, утворює так звану дренажну решітку, через яку у горн стікають рідкі продукти плавки.

Кокс повинен бути механічно стійким у нагрітому стані, містити від 85 до 90 % вуглецю, велику теплоту згоряння та малу зольність. Велике значення у доменному процесі має не тільки наявність у коксі вуглецю, але й летких речовин та шкідливих домішок. Вони знижують теплоту згоряння палива та збільшують кількість шлаку. Крім того, сірка та фосфор переходять у розплав та знижують якість виплавленого чавуну.

Підготовка коксу до плавки складається у відсіюванні мілких фракцій (дрібняка).

При плавці частина коксу може бути замінена на газоподібне, рідке чи тверде паливо. Воно вдувається у горн печі.

*Природний газ* відноситься до висококалорійного палива, що складається, в основному, з метану ( від 50 до 97%) , а також й інших горючих вуглеводнів

складу  $C_nH_m$ . Негорючі домішки – це  $CO_2$ ,  $N_2$  та ін. Їх у природному газі звичайно не більше 3–10%. Тому позитивним фактором для доменного процесу, у якому використовується природний газ, є те, що паливо практично не містить шкідливих домішок та не утворює твердих продуктів згоряння. Чавун, одержаний при такій плавці, є якісним.

*Доменний (колошниковий) газ* є газоподібним відходом або побічним продуктом виплавки чавуну. Його хімічний склад залежить від повноти згоряння вуглецю, технології ведення плавки. Якщо доменний процес проходив з використанням кам'яновугільного коксу, то він може містити 4–16 %  $CO_2$ , 34–25 %  $CO$ , від 0 до 0,4 %  $CH_4$ , 1–3% водню, 56-59 % азоту. Доменний газ, що виходить з печі, проходить обов'язкову очистку від пилу, а також сполук сірки. В основному такий газ використовують для підігрівання повітря, що подається через фурми в піч.

Як паливо *коксівий газ*, утворений у коксових печах, використовується після охолодження, видалення хімічних продуктів та очистки від сірководню. Склад такого газу буде залежати від властивостей вугілля, що коксувалось. Наприклад, коксовий газ може містити: 58 – 62%  $H_2$ ; 24,5–26,5%  $CH_4$ ; 5,0 – 6,5 %  $CO_2$ ; 2,0 – 2,5%  $C_mH_n$ ; 2,0–3,5%  $N_2$ ; 1,5 – 3,0%  $CO$ ; 0,4–0,6%  $O_2$ .

*Мазут* є важким залишком перегонки нафти, який утворений після відбирання світлих дистилатів. Він містить близько 88% вуглецю, а також від 10 до 12% водню та невелику кількість кисню та сірки. Зольність мазутів не перевищує 0,1–0,3%.

*Вогнетривкі матеріали* – це матеріали, які застосовують для внутрішнього облицювання (футерівки) печей, іншого обладнання, що знаходиться під дією температур вище  $1000^{\circ}C$ , а також розплавлених металів і шлаків. Такі матеріали мають здатність, зберігаючи свої властивості при високих температурах, попереджувати теплові втрати працюючої печі та захищають елементи конструкцій від негативного теплового впливу.

При виробництві чавуну вогнетриви застосовуються: для футеровки доменних печей, повітрянагрівачів (кауперів), кладки лещаді, шахт доменних

печей, куполів повітронагрівачів доменних печей, жолобів для розплавленого чавуну. Вогнетриви вибирають згідно їх властивостей та умов доменного процесу.

За хімічними властивостями вогнетривкі матеріали поділяються на кислі, нейтральні та основні. *Кислі* вогнетриви мають високий вміст  $\text{SiO}_2$ . Від величини вмісту цього оксиду зростає вогнетривкість (до  $1700^\circ\text{C}$ ). До кислих вогнетривів відносяться кварцовий, динасову цеглу та ін. *Основні* вогнетриви мають великий вміст оксидів  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$  ( доломіт, хромомангезит та мангезит). Після випалювання вогнетривкість доломіту наближається до  $1950^\circ\text{C}$ , а мангезиту і хромомангезиту – до  $2000^\circ\text{C}$ . Вогнетривкість нейтральних вогнетривів (глиноземисті, вуглевмісні та хромітові матеріали) становить  $1500 - 2000^\circ\text{C}$ .

## **2.2. Особливості технологічного процесу виробництва чавуну**

Основним способом отримання чавуну є сучасне доменне виробництво, яке має велику ступінь автоматизації. Чавун виплавляється у спеціальних вертикальних ( шахтних) печах – домнах. У домні протікає процес відновлення з руди заліза та наступне його насичення вуглецем та іншими домішками.

Схема доменної печі приведена на рис. 2.3. Висота сучасних доменних печей у три рази більша ніж діаметр і сягає 30 – 80 м.

Склад шихти, яка загрузається у піч, визначається таким чином, щоб збільшити вміст заліза в суміші та зменшити кількість шкідливих домішок (сірки, фосфору) і зробити шихту однорідною за хімічним складом та кусковатістю.

Суть доменного процесу заключається у наступному. Руду, продукт збагаченої руди (концентрат) та флюс направляють на фабрику окусковування, де з них виготовляють агломерат або окати. Відсіяний агломерат направляють в доменний цех. Одночасно туди подають кокс та допоміжний флюс. Агломерат, флюс і відсіяний від пилу кокс завантажують в домен печі. Спочатку засипають

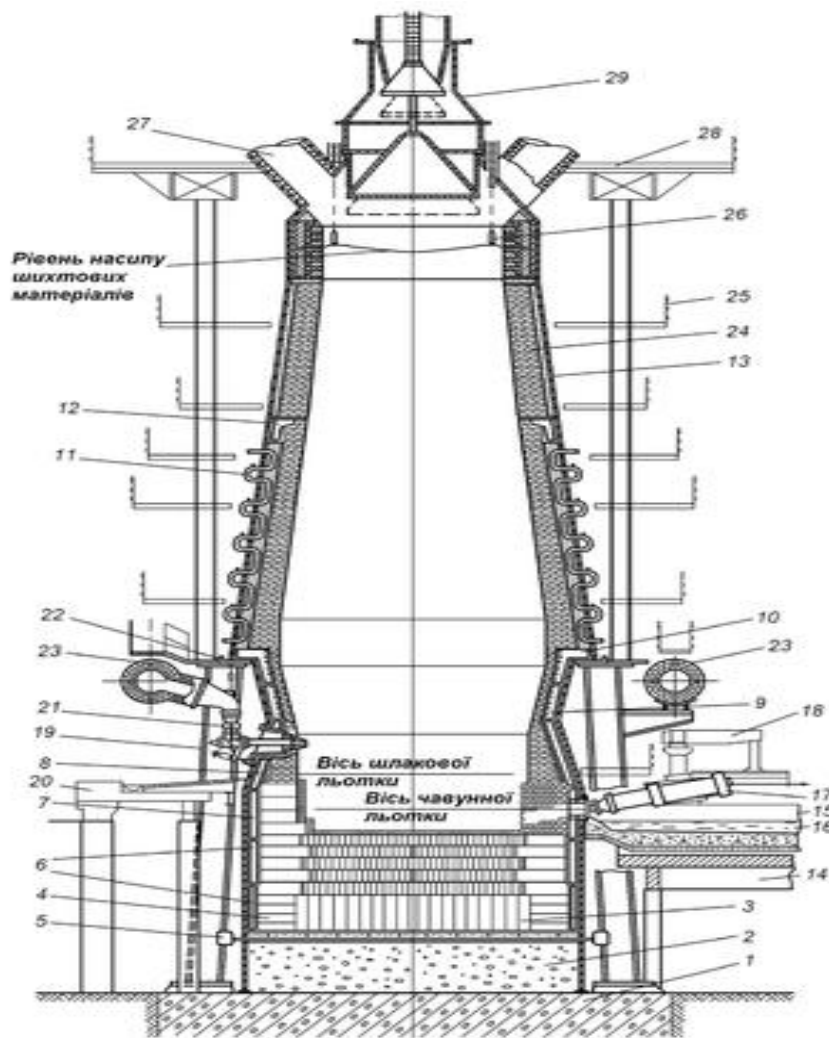


Рис. 2.3 – Схема доменної печі [ <https://uk.wikipedia.org/wiki/>]

1–нижня частина фундаменту; 2 – нижня частина фундаменту або «пеньок»; 3 – графітові блоки; 4 –вуглецеві блоки; 5 – система охолодження дна; 6 – подові холодильники; 7 – ряд горнових холодильників; 8 – холодильники фурменної зони; 9 – ряд холодильників заплечиків; 10 – верхній ряд холодильників заплечиків; 11 – система охолодження шахти печі ( кілька рядів холодильників або залиті у бетон водоохолоджувальні труби); 12 – горішній ряд холодильників, на які спирається мурування частини шахти печі, що не охолоджується; 13 – кожух печі; 14 – ливарний двір; 15 –головний жолоб; 16 – продукти плавки ( чавун і шлак – у головному жолобі); 17 – гармата, підведена до лійки; 18 – машина для розкриття чавунної лійки у вихідному положенні; 19 – колони, на які спираються шахта печі і металоконструкції по шахті печі і колошниковий пристрій; 20 – майданчик фурменної зони; 21 – пристрій для подачі дуття у доменну піч; 22 – мараторне кільце; 23 – кільцевий повітропровід; 24 – неохолоджувальна частина шахти печі; 25 – перехідні майданчики на різних горизонтах печі; 26 – ланцюгові зонди; 27 – газопроводи; 28 – колошниковий майданчик; 29 – завантажувальний пристрій доменної печі.

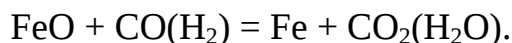
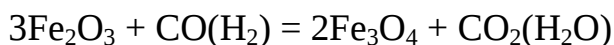
шар коксу, потім шар суміші руди з коксом і флюсами, потім знову шар коксу і т. д. Повітря для продувки підігрівають до температури 1100 – 1350°C і також подають у піч. Одночасно з продувкою можливо подавати технологічний кисень, який одержують із повітря на спеціальних установках. Для зниження витрат коксу в піч може вводитися інше паливо та відновники: природний газ, мазут та інше паливо і відновники. Заміна звичайного повітря повітрям, що збагачене до 30 об'ємних процентів киснем, а також вдування у домну природного газу підвищує продуктивність домни на 10 і більше відсотків і знижує витрати коксу до 20%.

У домні відбувається зустрічний рух двох потоків: зверху шихти, а знизу – газів, що утворились при згорянні палива. При цьому гарячі гази нагрівають компоненти шихти, в результаті чого проходить відновлення заліза та інших її компонентів.

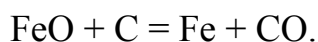
Основним флюсом для доменної плавки є вапняк ( $\text{CaCO}_3$ ), який після розкладання в печі переходить в оксид кальцію. Додавання флюсу значно знижує температуру плавлення пустої породи, що залишилась після відновлення оксидів заліза, й інтенсифікує процес шлакоутворення.

Процеси, що мають місце у домні, описуються хімічними реакціями, які протікають в залежності від величини температури. Переріз доменної печі та процеси, що відбуваються в ній приведений на рис. 2.4.

При 570°C і надлишку CO та  $\text{H}_2$  відбувається відновлення оксидів заліза:



При цьому частина FeO відновлюється твердим вуглецем:



Разом із залізом відновлюються оксиди мангану, кремнію, фосфору та інших елементів.

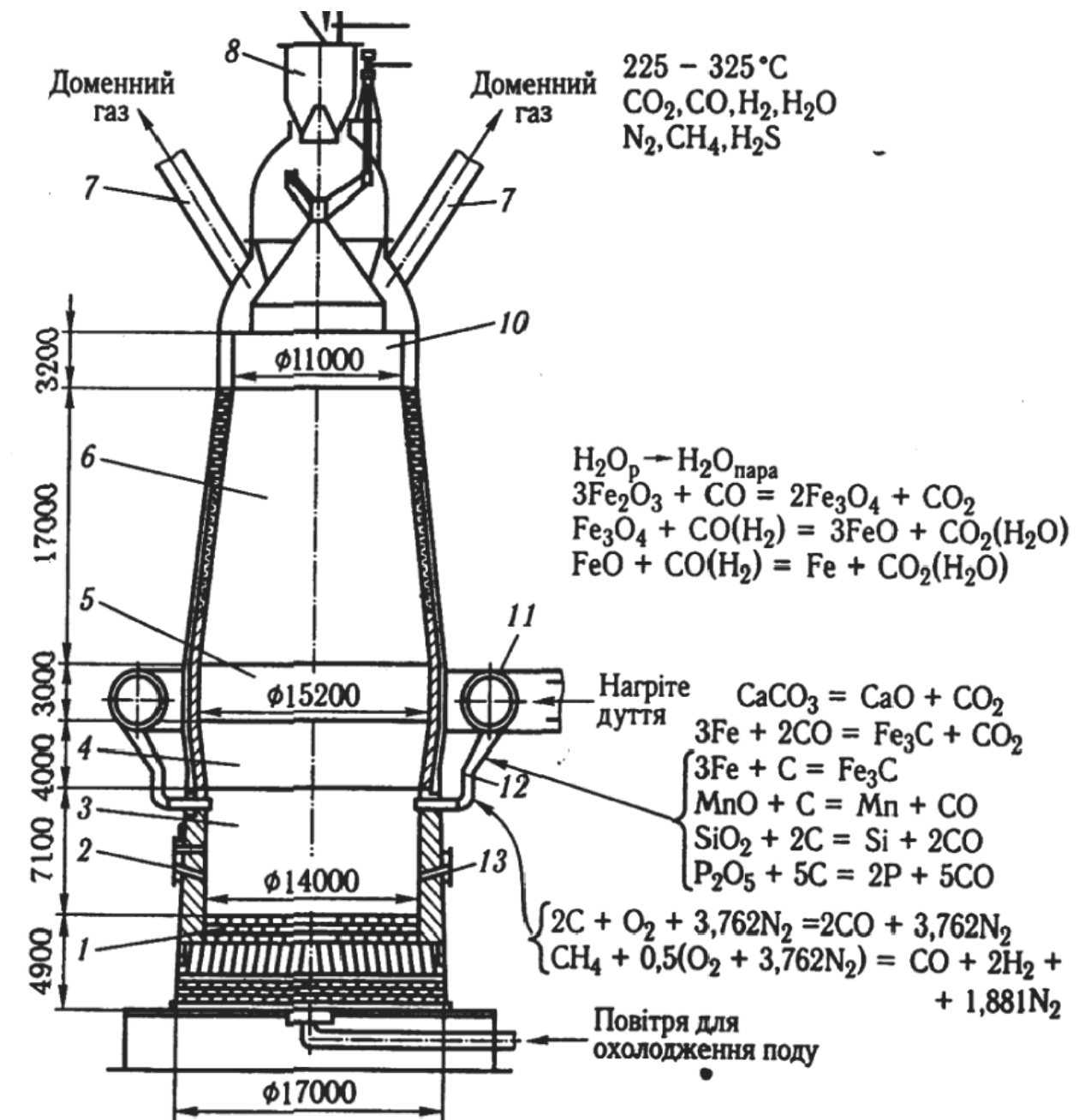
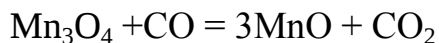
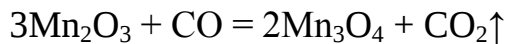
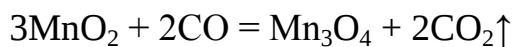


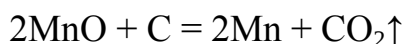
Рис. 2.4 – Переріз доменної печі об'ємом 3000 м<sup>3</sup> та процеси, що відбуваються в ній

1 – под печі; 2 – льотка для чавуну; 3 – горно; 4 – заплечики; 5 – розпар; 6 – шахта; 7 – газоходи; 8 – пристрій для завантаження шихти у піч; 9 – конвеєр; 10 – колошник; 11 – повітропровід; 12 – фурмовий пристрій; 13 – льотка для зливання шлаку.

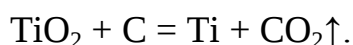
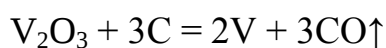
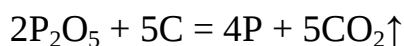
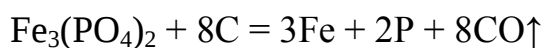
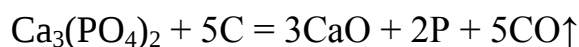
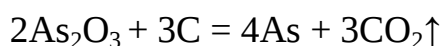
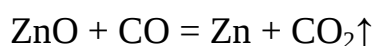
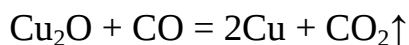
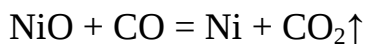
Реакції відновлення протікають у доменній печі за різних температур. Так, за температур, що менші ніж 1100 °С, відновлюються вищі оксиди мангану за реакціями:



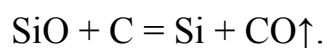
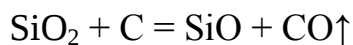
Надалі відновлення оксидів відбувається лише вуглецем при температурах понад 1100°С:



Значна кількість відновленого мангану переходить у шлак. Інші елементи відновлюються за такими реакціями:



Зі шлакової фази відновлюється кремній:



У процесі доменної плавки одержують рідкий чавун, шлак та колошниковий газ. Чавун випускають із чавунної льотки домни від 6 до 10 разів у добу. До сталеплавильного цеху рідкий чавун подається у ковшах. Тут його використовують для переробки на сталь. Переробний чавун направляють на розливальну машину для розливання на чушки.

Доменний шлак випускають через шлакову льотку у шлаковивізні ковші. На 1 т виплавленого чавуну утворюється 0,6 т шлаку. Основу доменних шлаків

складають  $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ . У подальшому такі шлаки необхідно утилізувати.

Колошниковий (доменний) газ, який виходить із печі, містить близько 20 – 30% монооксиду вуглецю, 5– 6% водню, близько 0,5% метану і має достатню теплотворну здатність. На 1 т виплавлено чавуну утворюється близько 3000 м<sup>3</sup> пилу (руда, флюс та паливо). Після очистки цей газ використовують для підігрівання повітря, що подається через фурми в піч, а також і для інших цілей.

### **3. Технології виробництва сталі**

#### **3.1. Характеристика сталей**

*Сталь* – це сплав заліза з вуглецем, що містить від 0,02 до 2,14% вуглецю та домішки. Якщо сталь містить до 0,3 % вуглецю, то вона відноситься до м'якої сталі або технічного заліза. У твердій сталі – від 0,3 до 2% вуглецю.

Домішки – хімічні елементи, що перейшли у сталь при виплавці як технологічні добавки, а також як складові шихтових матеріалів. Домішки поділяють на позитивні та шкідливі. До позитивних постійних домішок відносять марганець (0,3–0,6%) та кремній (0,15–0,2%). Шкідливими домішками є сірка, фосфор, кисень, азот.

Для створення сплавів заданого хімічного складу, а також структури з потрібними фізичними, хімічними і механічними властивостями при виплавці у розплавлений сплав вводять додаткові речовини (окремі хімічні елементи або готові комплекси). Такий процес називається *легуванням*, а домішки, що додаються при цьому, відносять до легуючих елементів.

Для легування сталей використовують хром, нікель, марганець, кремній, вольфрам, молібден, титан, ванадій, кобальт, ніобій, мідь, бор. Хром, марганець, молібден, вольфрам, ванадій, титан утворюють в сталі карбіди, а нікель, кремній, алюміній такі з'єднання не утворюють.

Всі легуючі елементи підвищують міцність сталей. Для підвищення корозійної стійкості та жаростійкості, а також жароміцності хром вводять у кількості 8–13%, нікель 8–12%, вольфрам, молібден – понад 5%.

Сталі класифікують за способом виробництва, хімічним складом, призначенням, якістю, ступенем розкислення.

За *способом виробництва* сталь буває мартенівська основна і кисла, бесемерівська, електросталь основна та кисла. Електросталь (основну та кислу) виплавляють у дугових електропечах і використовують для одержання різних марок сталі. В індукційних електропечах виплавляють високоякісні леговані сталі.

За *хімічним складом* розрізняють сталі вуглецеві і леговані. Вуглецеві сталі можуть бути маловуглецевими (вміст вуглецю менше 0,25%), середньовуглецевими (вміст вуглецю – 0,25-0,60%), високовуглецевими (вміст вуглецю перевищує 0,60%). Леговані сталі підрозділяють на низьколеговані, у яких вміст легувальних елементів до 2,5%; середньолеговані (від 2,5 до 10% легувальних елементів); високолеговані (вміст легувальних елементів – понад 10%).

За *призначенням* сталі поділяють на: конструкційні, призначені для виготовлення будівельних і машинобудівних виробів; інструментальні, що містять більше 0,65% вуглецю; з особливими фізичними чи хімічними властивостями (з визначеними магнітними характеристиками, жаростійкі чи жароміцні сталі).

За *якістю* сталі класифікують залежно від вмісту шкідливих домішок сірки і фосфору. Сталі підрозділяють на сталі звичайної якості (до 0,06% сірки і до 0,07% фосфору); якісні – до 0,035% сірки і фосфору кожного окремо; високоякісні – до 0,025% сірки і фосфору кожного окремо; особливо високоякісні – до 0,025% фосфору і до 0,015% сірки.

За *ступенем розкислення* виділяють спокійні сталі. Це цілком розкислені сталі, що мають мінімальні кількості оксидів заліза, що забезпечує «спокійне» охолодження металу у виливницях. За даною класифікацією також розрізняють

киплячі сталі, які є слабо розкислені і характеризуються підвищеним вмістом оксидів заліза. В процесі охолодження сталі у виливницях проходить взаємодія останніх з вуглецем, в результаті чого утворюється монооксид вуглецю, який виділяючись з рідкого сплаву, створює уяву про кипіння. Проміжне місце між спокійними та киплячими сталями займають напівспокійні сталі.

Найбільш поширеними у використанні є вуглецеві сталі, які мають застосування у машинобудівній, будівельній та ін. галузях; їх використовують і у формі прокатних виробів. Марки сталі позначають поєднанням букв та цифр. Після символу Ст вказується група гарантованих властивостей сталі (А,Б,В або цифри 0,1,2,3...6). Якщо група у марці не вказується, то це вказує на групу А. Після номера марки сталі вказують ступінь розкислення: кп – кипляча, пс – напівспокійна, сп – спокійна сталь. Наприклад, використовують позначення: Ст3 або ВСт3пс та ін.

Якісні сталі маркують таким чином: на початку марки вказують вміст вуглецю цифрою, що відповідає його середній концентрації у сотих %. Наприклад, Сталь 05 – це низьковуглецева якісна спокійна сталь, яка має середній вміст вуглецю 0,05.

Леговані конструкційні сталі позначаються двозначними цифрами, що стоять на початку марки та вказують масову долю вуглецю в сотих долях проценту (у десятих долях проценту – для сталей інструментальних та з особливими властивостями), а також літерами, які умовно позначають легувальний елемент.

Сплав, який містить суму легувальних елементів понад 55%, не вважається сталлю. Якщо вміст заліза в сталі перевищує кількість будь-яких легувальних елементів, то її називають сплавом на основі заліза.

Найбільш поширені легувальні елементи, що входять до складу сталі, позначають літерами: А – азот; К – кобальт; Т – титан; Б – ніобій; М – молібден; Ф – ванадій; В – вольфрам; С – кремній, Н – нікель; Х – хром; Г – марганець; П – фосфор; Ц – цирконій; Д – мідь; Р – бор; Ю – алюміній та ін. Цифри, що стоять за літерою, вказують на масову долю елемента в сталі у

відсотках. Якщо цифри відсутні, то сталь містить близько 1-1,5% легувального елемента. Виняток складає вміст молібдену та бору, концентрація яких звичайно не перевищує вказаних значень. Наприклад, сталь 45Г6А – середньовуглецева, середньолегована марганцевиста високоякісна конструкційна сталь з середнім хімічним складом: 0,45% С, 6% Мп.

Сталі, які леговані азотом, позначаються в середині марки літерою А, наприклад Х17Г9АН4 (0,2% N).

### **3.2. Виробництво конверторної сталі**

У загальному випадку суть конверторних процесів полягає у зменшенні до потрібної концентрації вмісту вуглецю і шкідливих домішок у рідкому чавуні ( фосфору та сірки ) шляхом їх окислення і переведення у шлак та газу у процесі плавки. Присутність цих домішок погіршує якість сталі, підвищуючи її крихкість і ламкість.

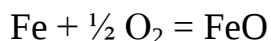
Існують такі способи конверторного виробництва: бесемєрівський і томасівський , киснево-конверторний з продувкою киснем зверху або знизу, а також комбінований конверторний спосіб. Незалежно від того, який спосіб застосовується, технологія виробництва сталі включає такі операції:

- підготовка шихти;
- завантаження шихти в плавильний агрегат;
- плавка і розкиснення сталі;
- розливання сталі і вивантаження злитків.

В основі конвертерного процесу лежить обробка розплаву чавуну активними окислювачами, що дозволяє проводити його без додаткового зовнішнього підведення тепла. Плавка здійснюється за рахунок хімічної теплоти екзотермічних реакцій та фізичного тепла, що має рідкий чавун.

Окислення більшої частини домішок має складну схему. Окислення вуглецю, як і інших домішок, лише частково проходить за безпосередньою участю кисню, що має газоподібну фазу. При контакті з киснем дуття в першу

чергу окислює залізо так, що його вміст у сплаві значно більше ніж інших елементів:

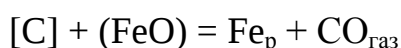
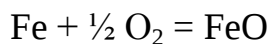


Частково FeO розчиняється у металі:

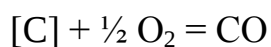


де [O] – концентрація кисню.

Також ця сполука заліза розчиняється і у шлаці FeO+(FeO). Далі за рахунок розчиненого у монооксиді заліза проходять реакції окислення з іншими домішками. Таким чином, наприклад, окислення вуглецю буде проходити за схемою:



Звідси сумарна реакція окислення вуглецю:

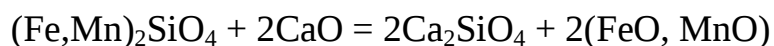


При цій реакції виділяється велика кількість тепла.

Окислення вуглецю у конвертері до CO<sub>2</sub> складає лише 10%. Спочатку продувки швидкість окислення вуглецю незначна, так як у цей період кисень витрачається на взаємодію з кремнієм та марганцем.

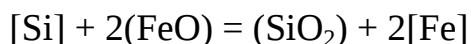
У технологічному сенсі окиснення вуглецю має велике значення, так як дає більшу частину тепла для нагріву ванни та визначає термін продувки. Крім того, бульбашки CO сприяють перемішуванню ванни, що інтенсифікує інші реакції з домішками та прискорює виділення шкідливих газів.

Формування шлаку в конвертері відбувається згідно реакцій:



Окислення Si, Mn та P відбувається на міжфазній межі метал–шлак їх взаємодією з розчиненим у розплаві киснем та з оксидами заліза в шлаку.

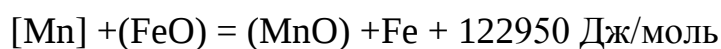
Окислення кремнію проходить спочатку продувки і до повного його витрачання:



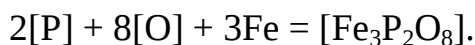
Інтенсивне окислення марганцю проходить спочатку продувки (за 3–5 хв):



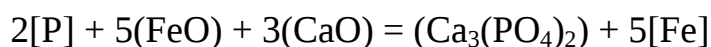
У подальшому реакційна взаємодія марганцю буде визначатись рівновагою екзотермічної реакції:



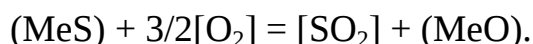
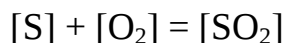
Окислення фосфору у конвертері проходить за реакціями:



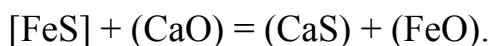
Продуктом окислення фосфору (дефосфорації) в конвертері є фосфати:



Вміст сірки в готовій сталі залежить від кількості її в шихтових матеріалах і ступеню десульфурзації металу, що досягається в процесі плавки. Суть різних способів десульфурзації полягає у зв'язуванні сірки в сульфіді  $\text{MnS}$ ,  $\text{CaS}$ ,  $\text{MgS}$  та  $\text{Na}_2\text{S}$ . Ці сульфіді практично не розчиняються у металі й переходять у шлак, а невелика кількість окисленої сірки переходить у газову фазу:



Значна кількість сірки переходить з металу в основний шлак шляхом взаємодії з оксидами кальцію, магнію або марганцю:



Процес одержання конверторної сталі ведеться у спеціальному агрегаті, що називається конвертером. *Конвертер* (від англ. converter, перетворювач)

являє собою посудину, футеровану зсередини вогнетривкими матеріалами (рис.3.1).

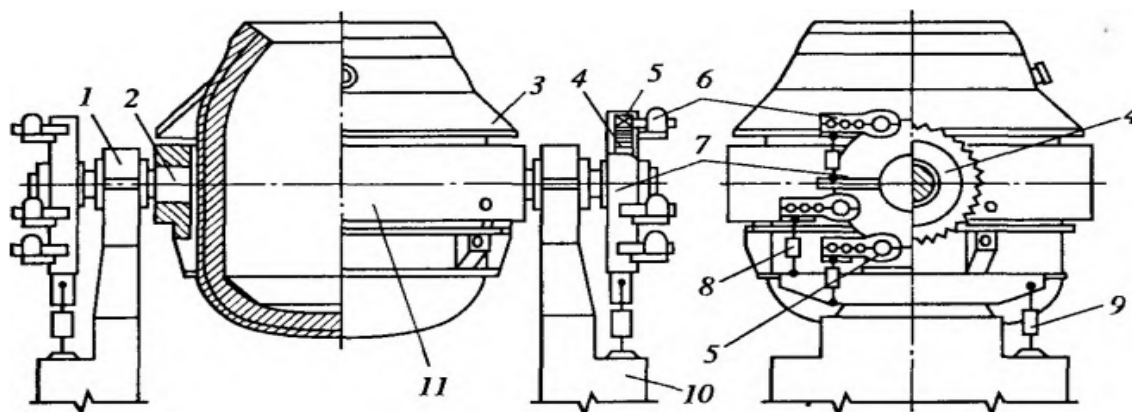


Рис. 3.1 – Кисневий конвертер

[<https://metallurgy.zp.ua/>]

1– опорний підшипник; 2 – цапфа; 3 – захисний кожух; 4 – відоме зубчасте колесо; 5 – вал-шестерня; 6 – електродвигун; 7 – корпус веденого колеса; 8,9 – опорна станина; 11 – опорне кільце.

Конвертер може змінювати своє положення відповідно технологічним операціям: при завантаженні складових плавки приймати похиле, а при плавці сталі – вертикальне.

Сировиною для одержання сталі у конверторах є рідкий чавун (70–90% від маси сталі), металевий брухт (23–27% від маси шихти), шлакоутворюючі (вапно, боксит або плавиковий шпат), легуючі матеріали та розкислювачі.

Перед початком кожної плавки проводять шихтовку, тобто визначають оптимальні кількості чавуну, брухту, матеріалів, що утворюють шлак та кисню. Такий склад компонентів повинен забезпечувати одержання металу із заданою масою, температурою, концентрацією вуглецю, фосфору та сірки.

Металічний брухт – найбільш коштовний компонент шихти. Брухт має різний хімічний склад та розміри. Великі шматки важко виплавляються, а деякі характеризуються забрудненням нафтою та окалиною.

Більшість легуючих елементів неможливо вводити в конвертер, так як вони повно чи частково окислюються. Лише деякі з них (нікель, мідь, молібден, кобальт, алюміній) не окислюються і входять у склад шихти. Найбільш простим та поширеним методом є введення легуючих у ківш при випуску металу. В ківш вводять феросплави, які містять хром, марганець, ванадій, кремній, фосфор. Алюміній вводять у вигляді чушок після присадки марганцю та кремнію.

Розкислення проводиться методом осадження у ковші при випуску сталі. Розкислювачі не вводяться у конвертер для попередження їх великого угару.

Технологічні операції одержання конверторної сталі включають наступне. У похилено або горизонтально розташований конвертер завантажують брухт, а потім проходить заливка рідкого чавуну. Після цього конвертер повертають у вертикальне положення і в його порожнину вводять кисневу фурму. На початку продувки в конвертер подають перші порції шлакоутворювальних матеріалів (вапна, бокситу або плавикового шпату). Тривалість кисневої продувки залежить від її інтенсивності та місткості конвертера й складає 12–30 хв. Після продувки кисневу фурму піднімають угору й повертають конвертер у горизонтальне положення. Проводять відбір проб та аналіз вмісту вуглецю у металі, а також вимірювання температури (температура перед випуском повинна складати 1600–1660<sup>0</sup>С). Якщо непотрібно проводити корегуючі операції щодо введення матеріалів (феромарганцю чи силікомарганцю для підвищення температури металу) та додувки для окислення надлишкового вуглецю, то плавка завершується. Загальна тривалість киснево-конвертерної плавки сталі складає 30–55 хв.

Бесемерівський процес проводиться у конвертері з кислою футерівкою. Він дозволяє переробляти чавун з низьким вмістом фосфору та сірки, але достатнім вмістом кремнію (0,7 – 1,25% Si; <0,06% P; <0,06% S). При температурі 1250 – 1300<sup>0</sup>С у конвертер заливають чавун та продувають його повітрям. При цьому окислюється вуглець, кремній та марганець. Якщо вуглець окислився до потрібного вмісту, то продувку завершують. Метал

розкисляють у ковші. З утворених оксидів утворюється кислий шлак. Сірка та фосфор при такому виробництві сталі не видаляється.

Томасівський (основний) спосіб для виплавки сталі в Україні не використовується.

Бесемерівський та томасівський процеси одержання сталі витісняються киснево-конверторним способом з комбінованою продувкою. Такий процес зберігає переваги верхньої та нижньої продувки. Це – можливість регулювання шлакоутворення зміною режиму продувки, а також збільшення виходу металу, швидке утворення вапняно-залізного шлаку (верхня продувка), інтенсивне перемішування ванни та прискорення процесу, зменшення викидів та угару, можливість глибокого зневуглюювання без надмірного його окислення, можливість продувки ванни інертним газом (нижня продувка).

У всіх варіантах комбінованої продувки зверху через фурму 1 подається кисень (рис.3.2).

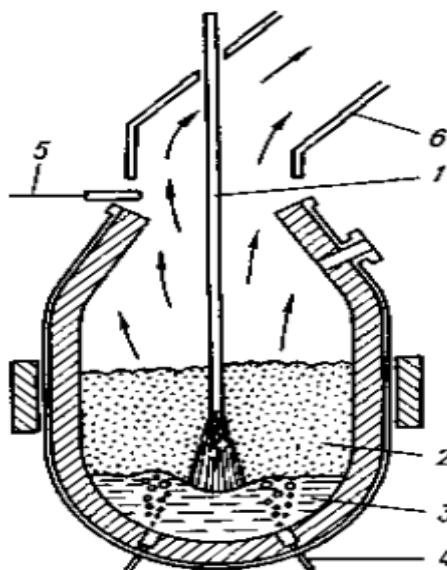


Рис.3.2 – Схема LBE-конвертера заводу «Stelco» ( Канада)

[<https://metallurgy.zp.ua/konverternyj-protsess-s-kombinirovannoj-produvkoj/>]

1– фурма для подачі кисню; 2– шлак; 3– метал; 4– пористі вставки для подачі аргону чи азоту; 5–контроль складу відхідних газів; 6– відвід газів та плавильного пилу.

Продувка знизу здійснюється:

- введенням аргону чи азоту через пористі вогнетривкі блоки-вставки (поз. 4). При цьому способі подача газів може починатись та зупинятись улюбий момент плавки;
- вдуванням аргону чи азоту через пористе днище конвертера або через одиночні фурми та ін.

### **3.3. Виплавка сталі мартенівським способом**

Сутність мартенівського процесу одержання сталі полягає у видаленні з чавуну частини вуглецю та шкідливих домішок з використанням зовнішнього джерела тепла. Процес проходить у мартенівській печі, що є полум'яною відбивною піччю з регенераторами. Мартенівські печі опалюються природним газом, мазутом або змішаним коксо-доменним газом. За рахунок їх горіння температура в печі над плавильним простором досягає 1750 – 1800°C.

Розрізняють два способи отримання сталі в мартенівських печах: скрап-процес і рудний процес. Вибір способу визначається складом шихти. У скрап-процесі основною складовою є сталевий брухт (скрап). Крім сталевих брухту, у піч завантажують чушкований передільний чавун (25–45% від маси шихти), який розплавляється за меншої температури, ніж сталь. Такий спосіб застосовують на підприємствах, що не мають доменних печей. У скрап-рудному процесі використовують рідкий чавун (55–75%), залізну руду та скрап. Даним способом виплавляють сталь на металургійних виробництвах, що мають доменні печі. Також може використовуватись скрап-вугільний процес. Шихта, що застосовувалась при цьому, складається зі 100% твердого брухту з добавкою вугілля.

Для футеровки печі використовують два види вогнетривких матеріалів. Залежно від цього мартенівські процеси виплавки сталі поділяють на два типи. При кислому (першому) способі плавильну піч футерують динасовою цеглою. До другого типу відноситься основний процес, у якому мартенівську піч футерують магнезитом, магнезитохромітом і частково доломітом.

Мартенівська піч є симетричною конструкцією (рис. 3.3).

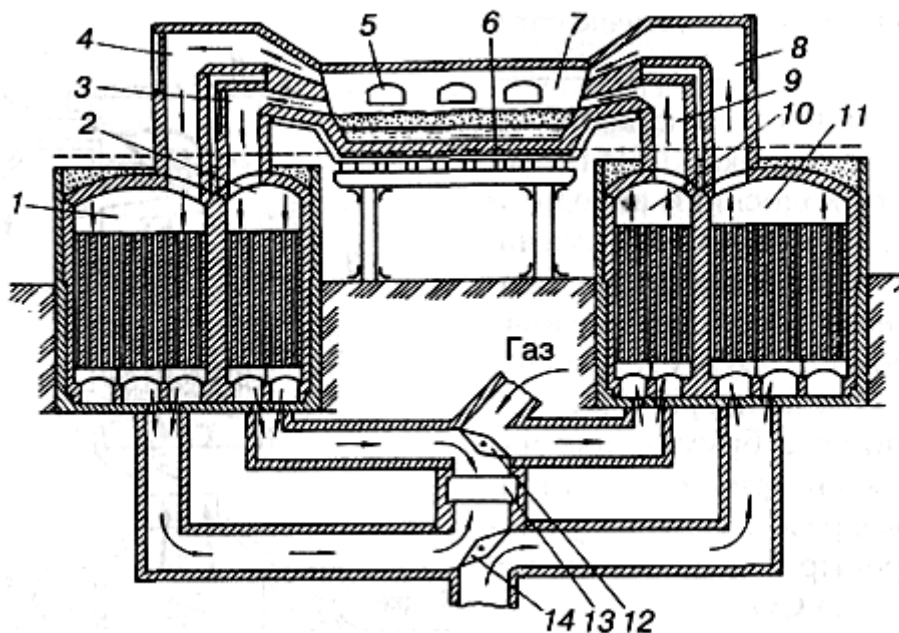


Рис. 3.3 – Мартенівська піч

1,2,10,11 – регенератори; 3,9 – канал для газу; 4,8 – канал для повітря;  
5 – вікно; 6 – подина; 7 – робочий простір печі; 12,14 – перекидні клапани; 13 –  
труба.

Виплавка сталі у ній протікає наступним чином. Шихта завантажується у піч крізь вікна. Газ і повітря, що поступають до неї, підігріваються в регенераторах, які мають температуру 1200–1250°C. Кожний із регенераторів має насадку із вогнетривкої цегли. З регенератора газу надходять у плавильний простір печі, де змішуються з повітрям, згоряють і утворюють полум'я високої температури.

Продукти згоряння по каналах надходять у регенератори, нагрівають їх, охолоджуються до температури 500–600°C і виходять крізь трубу. В міру того як охолоджуються регенератори, напрям газу і повітря в печі за допомогою клапанів змінюють на зворотний. Таким чином, газ і повітря під час роботи печі поперемінно проходять через ліві й праві регенератори.

У мартенівських печах, які працюють на мазуті, нагрівається тільки повітря і вони мають для цього по одному регенератору.

У процесі плавки в мартенівській печі з металу видаляються переважно кремній, марганець, вуглець, фосфор та сірка. При цьому вуглець утворює оксиди, які переходять у викиди, а інші елементи переходять у шлак. Плавку вважають закінченою, коли вона має заданий хімічний склад і температуру. Готову сталь в печі розкисляють марганцем, кремнієм та алюмінієм. Після закінчення плавки сталь випускають через сталевипускний отвір.

Основними джерелами утворення шлаку є продукти окислення домішок та продукти руйнування футерівки агрегату.  $MgO$  та  $CaO$  утворюються в основних печах, а  $SiO_2$  – у кислих. Крім того, шлак утворює забруднення шихти, які містять пісок, глину; оксиди заліза, що покривають брухт, а також оксиди, що містяться у вапняку, залізній руді, агломерати.

В основних мартенівських печах виплавляють вуглецеві, конструкційні, низько- та середньолеговані сталі. До легованих сталей відноситься 60% хромистих, 30% марганцевих, 6% кремнієвих сталей, а також сталей, до складу яких входять інші елементи (наприклад, молібден, титан).

У кислих мартенівських печах виплавляють якісні сталі, що містять менше водню і кисню, неметалічних включень. Таку сталь використовують для особливо відповідальних деталей та вузлів.

### **3.4. Одержання сталі у електропечах**

Виплавка сталі в електропечах відбувається під впливом електричного струму. Такі печі використовують для виплавки конструкційних, високолегованих, інструментальних, спеціальних сплавів і сталей. Сталь, одержана в них, є високоякісною, так як печі забезпечують високу температуру металу, вакуум або окисну, відновну чи нейтральну атмосферу, а також при розкиснюванні в них утворюється мінімальна кількість небажаних продуктів розкиснювання.

Існують такі групи печей: дугові, індукційні, вакуумно-індукційні, вакуумно-дугові, електронно-променеві, плазово-дугові печі, але основну масу електросталі виплавляють у дугових печах.

**Дугові плавильні печі.** Дугові плавильні печі являють собою агрегати, що для проведення процесу використовують змінний або постійний струм. У сучасних печах перевага надається використанню постійного струму (утворюють менше пилу та шуму і ін.). Найбільше застосування серед дугових печей знайшли трифазні дугові печі з трьома електродами і непровідною подиною (рис.3.4). В них виникають та горять дуги між електродами й металевою шихтою або розплавом. Електричний струм від трансформаторів за допомогою кабелів 7 підводиться до електротримачів 8, а далі до електродів 9. Між електродом і металевою шихтою 3 виникає електрична дуга, а далі електроенергія перетворюється в теплоту, що передається металу і шлаку.

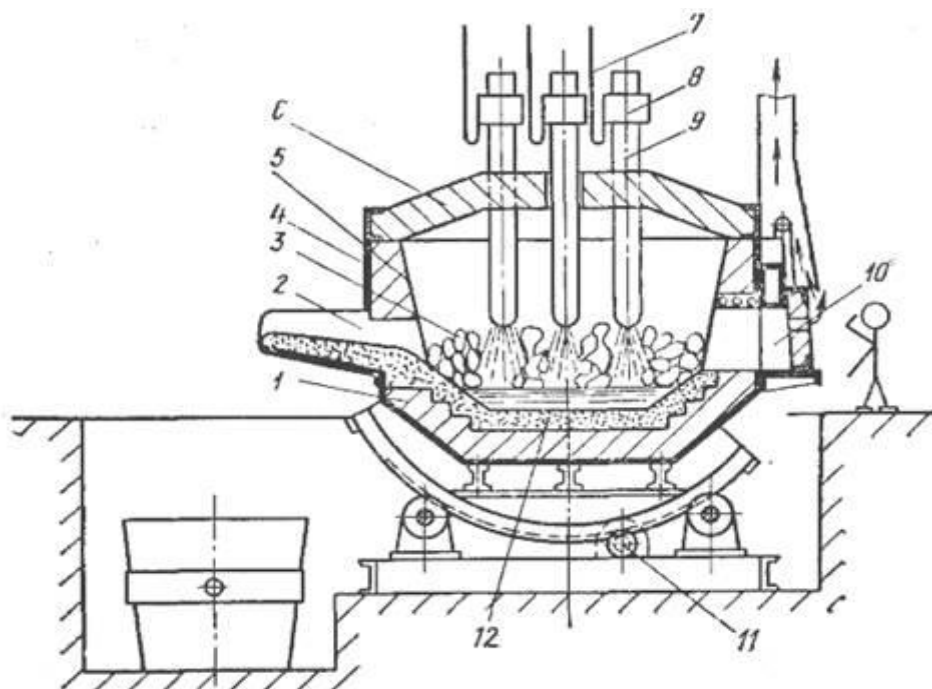


Рис. 3.4 – Схема трифазної дугової печі

- 1 – плавильний простір; 2 – зливний жолоб; 3 – електрична дуга;
- 4 – сталевий кожух; 5 – стінки печі; 6 – склепіння печі; 7 – кабелі;
- 8 – електротримачі; 9 – електрод; 10 – робоче вікно;
- 11 – привід печі; 12 – під печі.

Плавильний простір обмежується стінками 5, облицьованими вогнетривкою цеглою. Під печі, склепіння також футеровані такою цеглою. Хід плавки контролюється через робоче вікно 10. Готову сталь випускають через випускний отвір по жолобу 2 в ківш. Привід 11 призначений для нахилу в бік робочого вікна або жолоба.

Процес електроплавки складається з таких етапів як підготовка, завантаження і розплавлення шихти, кипіння, рафінування, розкислення і розливка сталі.

Після завантаження в піч твердої шихти здійснюється подача електричного струму на електроди, які опускають до зіткнення з металом. Під дією високої температури, що утворюється під впливом електричної дуги, проходить плавлення шихти. В процесі розплавлення та зневуглецьовування шихти кремній, марганець та фосфор окислюються і переходять в шлак. Коли вміст вуглецю і домішок знижується до потрібної межі, шлак зливається. У наступний період, що називається рафінуванням, в електропіч вводяться нові порції шлакоутворювальних речовин (вапна, подрібненого коксу та ін.). В кінці цього періоду для одержання сталі заданого складу в піч вводяться розкиснювачі і легуючі добавки. Готову сталь випускають з печі і розливають у виливниці.

Основною складовою шихти в електропечах є сталевий брухт, кількість якого доводиться до 75 і, навіть, до 100%. Але в останній час використовується шихта, що містить продукти прямого відновлення руд (губчасте залізо, металізовані окатки). Вимоги до брухту досить високі: відсутність іржі, малий ступінь окислення, мінімальна кількість нікелю, вміст фосфору – більше 0,05 %. Як шлакоутворюючі матеріали в основних печах застосовують вапно, вапняк, плавиковий шпат, шамотний бій, а у кислих – кварцовий пісок, шамотний бій, вапно. В якості окисників у цих печах застосовують залізну руду, окалину, агломерат, залізорудні окатиші, газоподібний кисень.

Існують комбіновані способи плавки в дугових електропечах. До таких технологій одержання сталі відносяться дуплекс-процес (кисневий конвертер –

дугова електропіч) або триплекс-процес (вагранка – конвертер – дугова електропіч).

**Індукційні сталеплавильні печі.** В індукційній електропечі процес одержання сталі здійснюється в електромагнітному полі шляхом індукційного нагрівання. Плавка сталі проходить у тиглі – елементі печі, що виконані з вогнетривкого матеріалу та розміщені у порожнині індуктора, який живиться перемінним струмом. Індукційні тигельні печі використовують для ведення кислотої та основної плавки.

У порівнянні з дуговими індукційні печі мають переваги, які сприяють одержанню якісних сталей:

- можливість застосування вакууму та інертного газу при плавці та розливу сталі;
- інтенсивне перемішування розплаву, що надає можливості рівномірно розподілятися в ньому хімічними елементами та температурі;
- менше поглинання водню й азоту та вигорання металу й легувальних елементів під час плавлення.

Разом з тим, дугові індукційні печі мають недоліки, які проявляються у малій стійкості основної футеровки та низькій температурі шлаків. Останнє утруднює видалення фосфору та сірки у процесі плавки.

Плавка у *вакуумних індукційних печах* дозволяє отримувати сталь і сплави з малим вмістом газів, неметалічних включень і домішок кольорових металів, легувати сплав будь-якими елементами, у тому числі такими, що володіють високою спорідненістю до кисню без їхніх втрат на окислювання.

*Вакуумно-дугові печі* застосовують для виробництва особливо якісних сталевих виливків. Принцип дії дугової вакуумної печі заснований на перетворенні електричної енергії в теплову в дуговому розряді, що існує у вакуумі або розрідженій захисній атмосфері. У цей час найбільше поширення отримали вакуумні дугові печі з електродом, що витрачається, які працюють на постійному струмі.

При плавці металу в *електронно-променевих печах* використовується кінетична енергія електронів, що швидко летять. При зіткненні з металом кінетична енергія електронів переходить у теплову, що приводить до нагріву й плавлення металу. У таких печах можливо перегрівати метал і витримувати в такому стані протягом будь-якого часу при значно більш низькому тиску, чим у вакуумних дугових печах. Завдяки цьому отримується метал високої якості.

*Плазмово-дугові печі.* Плазмову дугу використовують у сталеплавильних печах двох типів – плазмово-дугових із керамічним тиглем і установках плазмового переплаву заготовок у кристалізаторі, що охолоджує воду. Плазмова піч із керамічним тиглем є різновидом звичайної дугової печі, у якій замість електродів установлюють один або декілька плазмотронів. Плазмотрони є генераторами низькотемпературної плазми (плазмові генератори). Залежно від принципу перетворення електричної енергії в теплову розрізняють плазмотрони: дугові, індукційні або електронні. Найбільш розповсюдженими є дугові плазмотрони. Плазмово-дугові печі дозволяють виплавляти особливо низьковуглецеві сталі.

#### **4. Виробництво коксу**

Коксохімічна промисловість є галуззю чорної металургії, що займається переробкою кам'яного вугілля методом коксування. Виробництво коксу займає проміжне місце в технологічному ланцюжку "вугілля-кокс-метал. Близько 85–90% коксу, що випускається в Україні, використовується у виробництві чавуну, тому саме завантаження доменних потужностей визначає попит на кокс. Разом з тим, коксом забезпечується не тільки доменне, але також і ливарне виробництво. Крім того, коксохімічні підприємства виробляють продукцію для хімічної галузі, кольорової металургії та ін. Зважаючи на те, що металургійне виробництво споживає для виплавки чавуну 80% коксу, найбільші коксохімізаводи знаходяться у країнах, які є провідними виробниками сталі, а саме: Китай, Японія, Росія, США, Україна.

В Україні велике значення мають коксохімічні підприємства, які виробляють не тільки кокс як технологічну сировину для доменного процесу, але й такі продукти коксохімічних виробництв як коксовий газ та хімічні речовини (бензол, толуол, етилен, смоли, масла та ін.).

*Кам'яновугільний кокс* – це тверда пориста маса, що утворилась шляхом коксування кам'яного вугілля після видалення з нього летучих речовин без доступу повітря при температурах 950–1100<sup>0</sup> С . Вимогою до цього продукту є висока міцність, опір до ознак стирання, чистота щодо вмісту сірки, фосфору, мінімальна кількість золи.

На результати плавки впливають як хімічні, так і фізичні властивості коксу. До хімічних відноситься вміст золи, сірки, в окремих випадках фосфору. Хімічний склад коксу залежить від природи вугілля, що коксується. Звичайно його склад такий: 82–88 % твердого вуглецю, 10–15 % золи, 0,5–1,8 % сірки.

Щодо ефективної роботи печі, то фізичні властивості коксу мають більше значення, ніж хімічні. Кокс повинен володіти достатньою фізичною міцністю не тільки для того, щоб витримати вагу завантаження, але також і для того, щоб витримувати сильне навантаження під час його спуску в шахту печі. У формі твердої речовини (грудок) він надає необхідну ступінь проникності завантаження в зоні плавлення.

Пористість коксу складає майже 50%, а теплота згоряння – 27,2–31,4 МДж/кг.

Вугілля, з якого одержують кокс, складається з органічних речовин та мінеральних домішок. Складні циклічні органічні сполуки містять вуглець, водень, кисень, азот та органічну сірку. У вугіллі також є домішки неорганічних речовин (зола) та волога. Для оцінки вугілля як палива його умовно поділяють на горючу масу, яка є безводною та беззольною частиною вугілля, та негорючу – баласт, що складається із золи та вологи.

Сировиною для коксування служать коксівне вугілля, яке здатне при 350-400<sup>0</sup>С переходити в пластичний стан і давати міцний металургійний кокс. Для коксування застосовують суміші (шихти), складені не тільки з коксівного

вугілля, а й з вугілля інших марок (вугілля, що спікається, пісне та довгополум'яне). Це дозволяє розширити сировинну базу коксової галузі.

Розрізняють п'ять основних стадій коксування, що проходить у коксових печах: розм'якшення ( $320\text{--}450^{\circ}\text{C}$ ), газовиділення, спучування, спікання ( $520\text{--}550^{\circ}\text{C}$ ) і затвердіння вугілля.

Перед тим, як направити вугілля у процес коксування воно проходить підготовку подрібнюванням та збагаченням. З цілю зменшення утворення золи з вугілля видаляється мінеральна частина. Далі шихта зволожується та направляється у коксові печі, де нагрівається без доступу кисню. Летючі продукти починають виділятися у вигляді газів і парів при нагріванні вугілля до  $250^{\circ}\text{C}$ . При температурах близько  $300^{\circ}\text{C}$  починається виділення парів смоли, яке закінчується приблизно до  $550^{\circ}\text{C}$ . Одночасно відбувається виділення невеликої кількості води, що називається пірогенетичною вологою. Утворені газоподібні речовини спучують всю масу вугілля в результаті чого в ній утворюються пори. Така маса не тільки збагачується вуглецем, але й втрачає пластичність. При температурі  $600\text{--}650^{\circ}\text{C}$  утворюється напівкокс. У процесі нагрівання напівкоксу з нього виділяються летучі речовини, а далі спечена маса розтріскується з утворенням шматків коксу.

Коксування як термічна переробка вугілля закінчується при  $900\text{--}1050^{\circ}\text{C}$ . Утворений нелеткий залишок і є коксом. При вказаних температурах усі летучі речовини, які містились у вугіллі, переходять у газову фазу та відводяться з печі. Це – феноли, аміак, сполуки сірки, смолисті речовини.

Кокс отримують в камерних печах, об'єднаних в коксові батареї (рис.4.1). *Коксова батарея* – це група коксових печей, які працюють в єдиному технологічному режимі та мають спільний фундамент, пристрої для подачі вугілля, підводу опалювальних газів і повітря, а також відводу продуктів згоряння і коксування.

Батарея може мати до 80 камер коксування (звичайно 65–77 печей). Одинична потужність сучасних коксових батарей може сягати 1, 0 – 1,2 млн. т/рік. Стінки камер футерують вогнетривкою динасовою цеглою. Об'єм

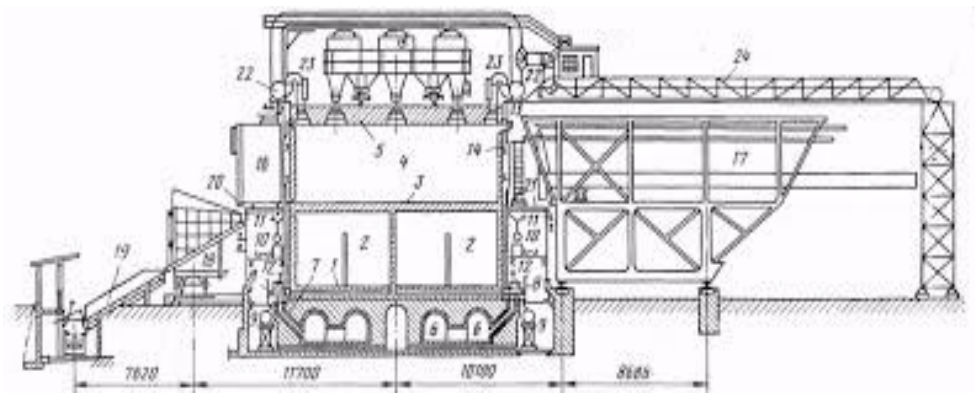


Рис.4.1 – Типова коксова батарея

1 – подові канали; 2 – регенератори; 3 – корнюрна зона (канал підводу газу ); 4 – камери коксування та вертикалі (опалювальні канали); 5 – верх батареї; 6 – борова; 7 – димові патрубки; 8 – газоповітряні клапани; 9 – газопровід доменного газу; 10 – газопровід коксового газу; 11 – газорозподільна арматура; 12 – кантовочні пристрої; 13 – анкерна стійка; 14 – двері; 15 – вуглезавантажувальна машина; 16 – дверезнімальна машина; 17 – коксовиштовхувач; 18 – коксогасильний або коксовізний вагон; 19 – коксова рампа; 20,21 – площадка обслуговування коксової та машинної сторін; 22 – газозбірник; 23 – стояки для відводу газу; 24 – міст під газопровід.

камери становить до  $42 \text{ м}^3$ , що відповідає одноразовому завантаженню до 20 т коксу. Підвищити ефективність коксування можливо за рахунок збільшення об'єму камер коксування ( до  $51, 65 \text{ м}^3$ ).

У виробництві коксу застосовуються печі, що між собою відрізняються конструктивними особливостями і технологічним режимом ведення в них процесу переробки вугілля. За конструктивними особливостями печі різняться за розташуванням камер, способу підведення газу і повітря, способу утилізації теплоти продуктів горіння палива і ін. Але при цьому печі поділяються тільки два типи: з перекидними каналами (ПК) та з рециркуляцією продуктів горіння (ПВР). Найбільш поширеними є печі ПВР, що мають рециркуляцію продуктів горіння. Технологічний режим роботи усіх печей коксування регулюється автоматично.

Газоподібним паливом для обігріву коксових печей є зворотний коксовий газ, доменний газ, а також їх суміші. Інколи для цього процесу використовується суміш доменного і природного газів.

Виробництво коксу включає наступне. Коксівне вугілля прибуває на завод залізничним транспортом і розвантажуються на відкритих заводських вугільних складах, де забезпечується його зберігання. Зі складу вугілля спеціальним саморозвантажним вагоном, а потім системою транспортерів воно подається в бункера вуглепідготовчого цеху. Тут відбувається підготовка вугільної шихти – дозування і змішування вугілля, а також його подрібнення. Підготовлена вугільна шихта системою транспортерів подається на вугільну вежу, що знаходиться над коксовими печами. З цієї вежі шихта надходить в спеціальний вагон, для завантаження вугілля, що пересувається по рейках над коксовими печами. З вагону шихта завантажується через завантажувальні люки в камери коксових печей.

Коксова камера повністю герметична, що виключає підсмоктування зовнішнього повітря та газів, які підводяться для опалювання. Сучасна коксова батарея обладнана регенераторами, які розташовані під коксовими камерами. В регенераторах тепло газів, що виходять з обігрівальних простінків, використовується для підігріву повітря, необхідного для горіння газоподібного палива.

Газоподібне паливо подається в простінки батарей, що знаходяться між сусідніми камерами. Тепло, що виділяється у простінках при згоранні палива, через стінки передається вугільній шихті. Під впливом високої температури та без доступу повітря відбувається процес коксування вугілля, при якому виділяється коксовий газ.

Коксовий газ, що виводиться з печей (прямий газ) – складна суміш, основними компонентами якої є: водень 50 – 60%; метан 20 – 30%; оксид вуглецю 5,0 – 7,0 %; діоксид вуглецю 2 – 3%; азот 2 – 3,5%. Всього у газі об'ємна доля горючих компонентів у складі газу складає 93%. Незначні компоненти коксового газу – це аміак, сірководень, ціанід водню, амонію

хлорид, бензол, толуол, ксилол і нафталін та інші ароматичні сполуки; компоненти смоли, фенольні гази, піридинові луги, дисульфід вуглецю.

Прямий газ непридатний для безпосереднього використання. Він підлягає очистці та уловлюванню продуктів, одержаних методом сухої перегонки вугілля, а також видалення з нього вологи.

Після вивантаження з печі розжарений кокс необхідно «погасити», тобто знизити його температуру до 250 – 100°C, що виключає самозаймання та тління коксу. Виданий з печей (виштовхнутий через дверні отвори) кокс охолоджується двома способами: водою (мокре гасіння) та циркулюючими газами (сухе гасіння).

При мокрому гасінні готовий кокс видається коксовиштовхувачем в спеціальний гасильний вагон, який транспортує кокс у гасильну вежу. Розпечений кокс інтенсивно зрошується і гаситься великою кількістю води та після охолодження вивантажується на коксову рампу, де відбувається остаточне досушування і вистигання коксу. Витрата води на гасіння становить 4-5 м<sup>3</sup>/т коксу.

При мокрому гасінні з парами води втрачається до 50% фізичного тепла, що утворилось при коксуванні вугілля. Тому при такому способі тепло не утилізується. Іншим недоліком способу є забруднення повітряного басейну водяними парами разом зі шкідливими речовинами, особливо, якщо на підприємстві для мокрого гасіння використовуються фенольні води. Також до недоліків мокрого способу відносять ефект різкого теплового удару, який приводить до зниження міцності коксу.

При сухому гасінні кокс з коксової камери подають в бункер. Через шар розпеченого коксу продувають інертні гази, які, нагріваючись до 600-800° С, надходять далі в котел-утилізатор. У якості таких газів використовуються топкові гази, що утворюються під час пуску установки гасіння. В котлі гази охолоджуються до 300–400°C і повертаються назад в бункер з коксом, що охолоджується. Тривалість охолодження коксу в камерах сухого гасіння

залежить від крупності коксу і кінцевої температури коксу, кількості повітря дуття і рівномірності його розподілу.

Сухе гасіння коксу характеризується значною економією тепла; відсутністю теплового удару при охолодженні коксу; однаковим вмістом вологи по усій масі коксу.

В Україні сухе гасіння застосовується обмежено. Мокре гасіння є більш розповсюдженим.

Кокс після гасіння сортується на грохотах різної конструкції по класах крупності. Для доменного виробництва застосовується кокс класу більше 40 мм, а в кольоровій металургії – кокс класу 10–25 мм.

У цеху уловлювання та поділу з прямого коксового газу витягуються такі основні компоненти як кам'яновугільна смола і сирий бензол. В цілому коксохімічна промисловість випускає бензол, толуол, ксилоли, нафталін, феноли, водень, етилен, піридинові луги, масла, бітуми, пек, пековий кокс, сажу, сульфат амонію та ін.

## **5. Вплив на довкілля видобутку мінеральної сировини та виробництва металів і сплавів**

### **5.1. Загальна характеристика впливу. Видобуток природної сировини та агломераційне виробництво**

Практично усі виробництва металургійного комплексу здійснюють негативний вплив на довкілля, що має різноманітні наслідки. Традиційно металургійний сектор за обсягом викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря в Україні посідає друге місце після енергетичного. В найбільшій мірі виробничою діяльністю об'єктів металургії забруднюються елементи довкілля в Дніпровській, Донецькій та Запорізькій областях.

Згідно з оцінками, на 1 млн т річного обсягу металургійної продукції середньодобові викиди в атмосферне повітря становлять: пилу – 350 т, сірчистого ангідриду – 200 т, оксиду вуглецю – 400 т, оксидів азоту – 42 т.

Діаграма, що ілюструє розподілення викидів парникових газів за основними джерелами утворення в гірничо-металургійному комплексі України, показана на рис. 5.1.

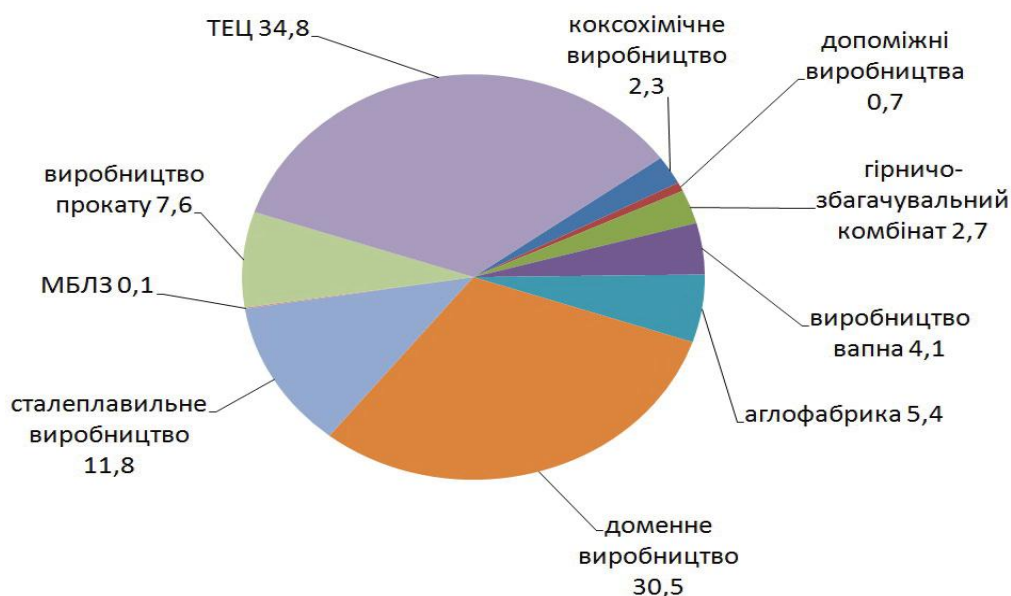


Рис. 5.1 – Розподілення викидів парникових газів за основними джерелами утворення в гірничо-металургійному комплексі України, %  
(Примітка: МБЛЗ – машини безперервного лиття заготовок)

Складові викидів металургійних виробництв та обсяги їх утворення на одиницю продукції приведені у табл.5.1.

Таблиця 5.1 – Питомі викиди металургійного виробництва<sup>х</sup>

| Складові викидів | Доменне виробництво,<br>кг/т чавуну | Сталеплавильне<br>виробництво,<br>кг/т сталі |
|------------------|-------------------------------------|----------------------------------------------|
| Пил              | 100–106                             | 13–32                                        |
| Оксид вуглецю    | 600–605                             | 0,4–0,6                                      |
| Оксиди сірки     | 0,2–0,3                             | 0,4–35                                       |
| Оксиди азоту     | –                                   | 0,3–3,0                                      |
| Сірководень      | 10-60                               | –                                            |

<sup>х</sup> до проходження системи очистки

Кількість пилу у викидах металургійних підприємств, які працюють за традиційними застарілими технологіями, складає 50–120 кг /т сталі, а у випадку використання сучасних – до 10 кг/т сталі. Застарілі технології металургійного виробництва є одним із головних джерел екологічних проблем України. Близько 20 % викидів пилу, а також значна частка газових викидів, зокрема CO і NO<sub>x</sub>, пов'язані у першу чергу з мартенівським процесом виробництва сталі.

Значною кліматичною проблемою є надходження у атмосферне повітря викидів CO<sub>2</sub>, що утворюється у металургійному виробництві. За даними Національного кадастру парникових газів України викиди вуглекислого газу при виробництві чавуну та сталі є ключовими. Валові викиди CO<sub>2</sub> в країні за даними, наприклад 2010 р., дуже великі та складають 20,05 млн т.

Баланс діоксиду вуглецю, що характеризує типове передове металургійне підприємство, приведений на рис. 5.2.

У ґрунтах біля металургійних заводів накопичується багато хімічних елементів, у тому числі і важких металів, які погано самоочищаються у ґрунті. Такі метали розташовуються на глибині 20 см, а при сильному забрудненні проникають до 1,6 м та можуть проходити і в підземні води.

Виробництво продукції металургійного комплексу починається з добування мінеральної сировини підприємствами гірничо-металургійного комплексу (ГМК). Наслідками їх діяльності є порушення придатних для використання в сільському господарстві родючих земель, повітряного та водного балансу, а також погіршення соціального стану робітників та мешканців прилеглих територій. Так, наприклад, загальна площа земельного відводу гірничодобувних підприємств Кривбасу становить близько 32 000 га. При цьому значна його частина знаходиться в межах міста. Тільки відвалами гірничо-збагачувальних комбінатів Кривбасу зайнято 4595 га, кар'єрами – 3102 га, шламосховищами – 5485 га. Одними із найбільших джерел неорганізованого виділення пилу є відвали розкривних порід у кар'єрах (у Кривбасі відвали складають близько 2880,4 млн м<sup>3</sup>, а кількість пилу з них – 47,721 т/т).

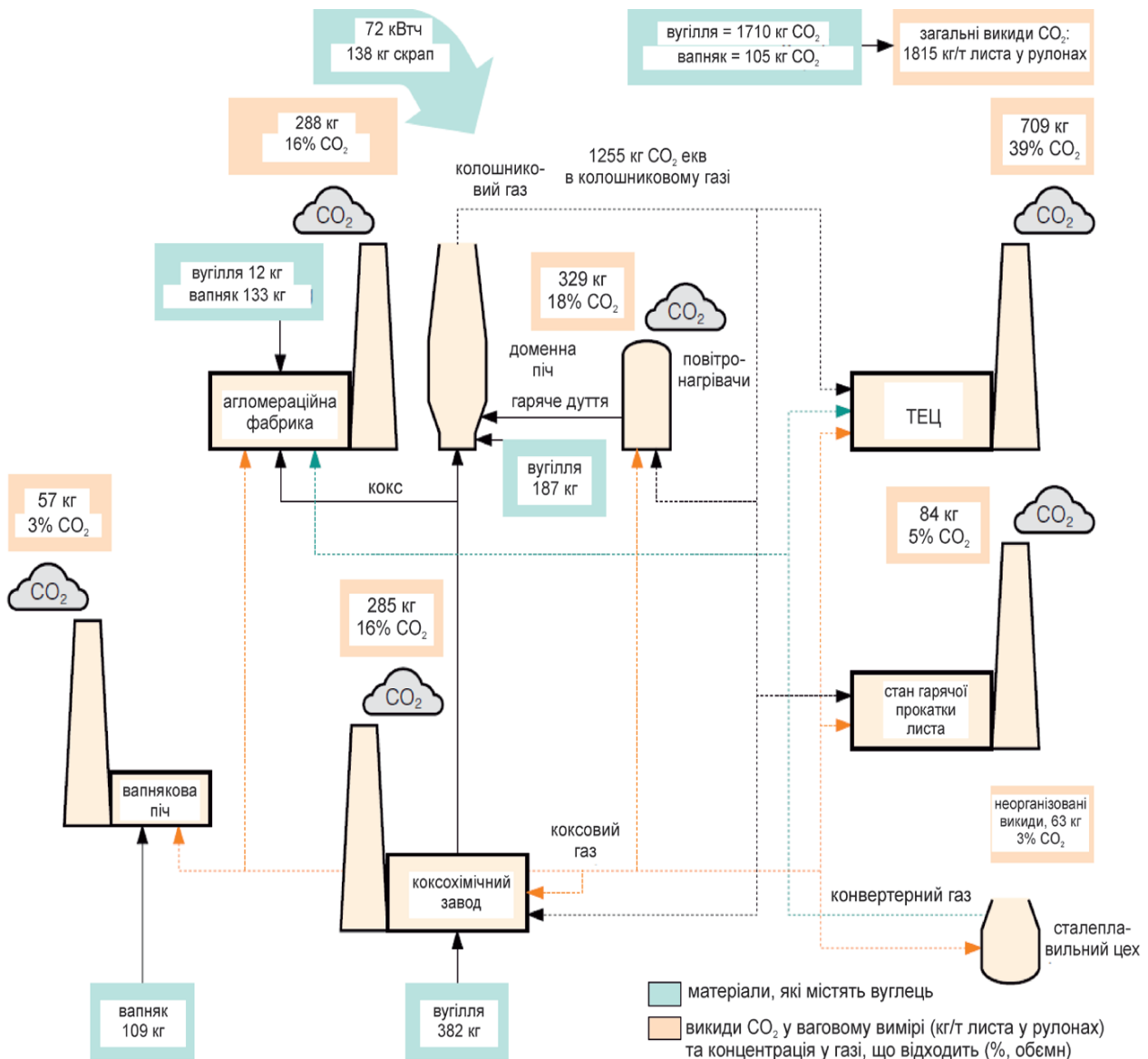


Рис.5.2 – Баланс діоксиду вуглецю на типовому передовому металургійному підприємстві

Значними джерелами шкідливого впливу гірничорудного виробництва на навколишнє середовище є також шламосховища та відстійники, оскільки вони акумулюють усі відходи збагачення та окускування. Основними забруднюючими джерелами є відкриті пляжі, греблі та пульпа.

Можливими напрямками зменшення шкідливого впливу об'єктів гірничого виробництва на довкілля є наступні:

- зниження продуктивності комбінатів із видобутку залізної руди й обсягів виробництва залізомісткої товарної продукції;
- застосування спеціальних способів пило-газоподавлення за всім технологічним ланцюгом виробництва;
- запровадження найбільш екологічних технологій або окремих процесів виробництва залізомісткої продукції.

З точки зору організації виробництва, найбільш ефективним шляхом зменшення шкідливого впливу гірничо-збагачувальних комбінатів на навколишнє середовище є концентрація гірничих робіт на окремих ділянках кар'єра або об'єктах гірничого виробництва.

У виробничому процесі збагачення залізної руди утворюється велика кількість стічних вод (до 50 тис.м<sup>3</sup>/год). У складі таких вод міститься пуста порода у формі зважених речовин та, крім того, ПАВ і нафтопродукти, вміст яких складає 100 – 500 мг/л.

На фабриках реалізується замкнута схема забезпечення водою, направлена на мінімізацію скидів у природні води. При цьому звичайно концентрація твердих речовин не перевищує 12–15 г/л, рН дорівнює 6–10.

При збагаченні магнетитів магнітною сепарацією та промивкою утворюються грубодисперсні домішки. Їх видаляють відстоюванням та магнітною сепарацією. Збагачення залізних руд типу сидериту та ін. проводять промивкою, магнітною сепарацією та флотацією. Крім грубо дисперсних домішок, у стічних водах присутні і реагенти. Очистка вод проходить відстоюванням та коагуляцією. При цьому утворюється осад грубодисперсних домішок та гідрооксид кальцію.

Існує природна очистка стічних вод залізорудних ГОКів, що здійснюється шляхом відстоювання хвостової пульпи у хвостосховищах. Інтенсифікують процес осадження коагулянтами. Під дією гравітаційних сил тверда фаза домішок осаджується, а відстояний злив безперервно відкачується на збагачувальну фабрику, де використовується у зворотній системі водозабезпечення.

Збагачення коксівного вугілля здійснюється відсадкою, сепарацією важких суспензій та флотацією шламів. Як забруднювачі, у стічних водах виявляються грубодисперсні домішки та нафтопродукти. Для очищення стічних вод застосовують відстоювання, коагуляцію та флокуляцію. Як і у попередніх випадках, шлам очистки містить грубодисперсні домішки та гідрооксид кальцію.

Велика доля забруднених викидів металургійного комплексу пов'язується з агломераційним виробництвом. Викиди шкідливих речовин поділяються на технологічні, які утворюються у процесі спікання агломераційної шихти і охолодження агломерату, та неорганізовані, які утворюються у процесі дроблення шихтових матеріалів і агломерату, їх грохочення та перевантаження в процесі транспортування.

Викиди агломераційного виробництва, містять оксиди сірки та вуглецю, залізо та його оксиди, оксиди марганцю, магнію, фосфору, кремнію, кальцію і ін.

В залежності від характеристики шихти утворюється 5–10 кг пилу на 1 т агломерату. У викид надходить 9 – 13 г/м<sup>3</sup> пилу агломерату, що складає 6–8% виробленого агломерату. Дисперсний склад пилу (за масою) становить: 5% частинок розміром до 5 мкм, 3 – 4% частинок розміром 5–10 мкм, 2% частинок розміром 1–15 мкм, понад 60% складають частинки розміром > 50 мкм.

Характеристика викидів виробництва агломерату приведена у табл. 5.2.

Обсяги газоподібних забруднювачів мають широкі межі і залежать від складу руди. Проте одна агломераційна машина може стати джерелом надходження у викид 700 т сірчистого ангідриду.

Очистка викидів агломераційного виробництва здійснюється двоступенево: у батарейних циклонах (60–70%), а потім з застосуванням такого обладнання як центробіжний скруббер, низьконапірний скруббер Вентурі, електрофільтр. При цьому перевагою електрофільтрів перед скрубберами є

Таблиця 5.2 – Викиди виробництва агломерату (на 1 т)

|                                               |           |
|-----------------------------------------------|-----------|
| Кількість газу, тис.м <sup>3</sup>            | 2,0 – 4,8 |
| Монооксид вуглецю, кг                         | 30– 50    |
| Сірчистий ангідрид при використанні руди, кг: |           |
| –малосірчаної                                 | 3– 5      |
| –сірчаної                                     | 10– 15    |
| Оксиди азоту, кг                              | 0,6– 1,0  |
| Пил у викидах, кг:                            |           |
| –технологічних                                | 10– 15    |
| –неорганізованих                              | 20– 40    |

відсутність шламу та досить низька запиленість на виході з апарату (до 80 мг/м<sup>3</sup>). Разом з тим, застосування мокрої очистки також є доцільним, так як, крім пилу, частково уловлюються газоподібні компоненти викидів.

Розроблені різні варіанти очищення викидів від діоксиду сірки, у який в процесі агломерації з природної сировини переходить біля 90 % сірки. Тому особливо при використанні високосірчистих руд важливе значення має сіркоочистка. Очищення викиду після агломераційної машини здійснюється у полому скрубєрі з використанням вапнякової суспензії (ефективність 85–90%).

Існують варіанти знепилювання викиду агломераційного виробництва з одночасним їх очищенням від діоксиду сірки. Використовується вапняковий метод видалення сірки. Очищення викидів від пилу здійснюється у електричних або рукавних фільтрах у схемі з каталітичним доспалюванням оксиду вуглецю.

Одержання окатків при випалі супроводжується утворенням значної кількості запилених газів: 100 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup> площі машини випалу. Очищення викидів від пилу у даному випадку здійснюється різними способами з використанням батарейних циклонів, електрофільтрів, труб Вентурі та ін. Очистка викидів від пилу в інших операціях виробництва окатків (транспортування, навантаження, складування) проходить із застосуванням циклонів, рукавних фільтрів, мокрих пиловловлювачів.

Для скорочення викидів  $\text{CO}_2$  у агломераційному виробництві, зокрема, необхідно проведення наступних заходів:

- реконструкція або будівництво агломераційних фабрик нового покоління;
- заміна застарілих агломашин на сучасні, впровадження енергозберігаючих технологій аглодоменного виробництва та ін.

Стічні води агломераційних фабрик в обсязі до 2–3 тис.м<sup>3</sup>/год утворюються при очистці забруднених газових потоків, гідрозмиві та на гідротранспорті, мийці обладнання. Такі води забруднені завислими речовинами (до 2 г/л) та переважно солями кальцію. Крім того, у стічних водах можуть міститися кислотні залишки сульфатної та сульфітної кислот. Шлами після очистки стічних вод, що містять залізо, підлягають утилізації.

Використання тепла, що утворюється у технологічних процесах агломерації, для попереднього підігріву шихти, нагрівання повітря та одержання пари, підвищує енергозбереження у виробничому процесі та зменшує теплове забруднення довкілля.

## **5.2. Коксохімічне виробництво.**

Коксохімічне виробництво є потужним забруднювачем атмосферного повітря. У виробництві коксу утворюється 6,7 кг/т викидів, серед яких до 70% формується у коксовому блоці. Основними процесами, пов'язаними з найбільшими викидами в атмосферне повітря, є підготовка шихти, її транспортування, завантаження шихти в камери коксових печей, вигрузка гарячого коксу, загрузка печей, мокре гасіння коксу, сортування коксу.

При падінні вугілля в цеху вуглепідготовки утворюється велика кількість пилу (0,4 кг/т вугілля). З урахуванням цього в місцях падіння вугілля споруджуються укриття і аспіраційні системи з пилоочищенням, які включають циклони і мокрі пиловловлювачі (скрубери). Для попередження виносу пилу доцільно застосовувати також спосіб змочування шихти розчинами поверхнево-

активних речовин, які утворюють на поверхні частинок вугілля плівку, що перешкоджає пілоздімнанню.

Метод термічної підготовки вугілля є одним із найбільш ефективних методів інтенсифікації коксохімічного виробництва. Шихта попередньо нагрівається до  $200 - 250^{\circ}\text{C}$ , але при цьому втрачається третина підігрітого теплоносія, який містить оксиди вуглецю, азоту, сірки та мілкі часточки вугілля та невелику кількість продуктів його термічного розпаду. Для очищення викидів використовуються скрубери Вентурі, а токсичні речовини окислюються на залізних і платино-паладієвих каталізаторах.

Завантаження вугільної шихти з вологістю 7–9% і більше в розпечені коксові печі з температурою стін  $1000\text{--}1200^{\circ}\text{C}$  супроводжується утворенням залпових викидів парогазової суміші у кількості  $3\text{--}5\text{ м}^3/\text{т}$  шихти. При заповненні холодною та вологою шихтою розпеченого простору печі ( $1000\text{--}1200^{\circ}\text{C}$ ) відбуваються значні виділення пилу і газів, г/т коксу: пил – 400; CO – 46;  $\text{H}_2\text{S}$  – 22;  $\text{NH}_3$  – 17 ; HCN – 0,6;  $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$  – 1,1;  $\text{C}_n\text{H}_m$  – 190 ;  $\text{SO}_2$  – 32 ;  $\text{NO}_x$  – 55.

Очистка та переробка коксового газу включає:

- підготовку сирого коксового газу для опалення коксових батарей;
- одержання товарного коксового газу;
- одержання сульфатної кислоти, бензолу,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , сірки.

Тривалий час на підприємствах використовують схеми підготовки газу з використанням первинного охолодження газу у холодильниках з горизонтальними трубами, очищення газу від аміаку сатураторним чи безсатураторним методами, кінцеве охолодження з закритим циклом, виділення бензолу у абсорберах насадкового типу, а також очищення газу від  $\text{H}_2\text{S}$  та HCN.

Очищення коксового газу та уловлювання хімічних продуктів коксування здійснюється у цехах уловлювання. Тут проходить охолодження газу та виділення з нього смоли, нафталіну, водяних парів, очистка газу від смоляного туману, а також уловлювання аміаку, фенолів та піридинових і бензольних речовин.

У схемах очистки летучих возгонів коксового газу використовуються електрофільтри. Вони призначені для очистки коксового газу від туманоподібної смоли перед уловлюванням хімічних продуктів коксування. Також застосовуються форсункові аміачні скрубери, форсункові скрубери для уловлювання  $\text{H}_2\text{S}$  вакуум-карбонатним, миш'яково-содовим методами, форсункові скрубери для уловлювання  $\text{HCN}$  5% розчином  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , насадкові бензольні скрубери.

Суттєвого зменшення утворення оксидів азоту в опалювальній системі коксової батареї можна досягти спільним використанням рециркуляції і ступінчастого підведення повітря у вертикалі.

Видача коксу з камер коксування в гасильний вагон призводить до залпових газопилових викидів, які містять, г/т коксу: пил – 750 ;  $\text{H}_2\text{S}$  – 7,6;  $\text{NH}_3$  – 51;  $\text{HCN}$  – 0,1;  $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$  – 0,5;  $\text{C}_n\text{H}_m$  – 36 ;  $\text{SO}_2$  – 22 ;  $\text{NO}_x$  – 3,6.

Для запобігання надходженню пилу в атмосферу використовуються різні кожухи, рухливі витяжні ковпаки і т.п. Кожухи розташовуються над камерними печами для того, щоб при вивантаженні коксу шкідливі виділення разом з потоками газу видалялись через них.

При русі гасильного вагона з вивантаженням з печі палаючим коксівним спеком до установки мокрого гасіння, а також безпосереднє гасіння коксу водою, приводить до виділення в атмосферу запилених газів в кількості  $100 \text{ м}^3$  /т коксу. Об'єм викидів на рампі складає  $735 \text{ м}^3$ /т коксу. У таких викидах міститься, г/т коксу: 0,3  $\text{H}_2\text{S}$ ; 0,5  $\text{NH}_3$ ; 0,2  $\text{HCN}$ ; 0,2  $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$ .

Для формування викидів при мокрому гасінні коксу має значення крупність шматків коксу, їх міцність, а також спосіб подачі води. Так, при імпульсній подачі води на гасильну вежу виніс крапель скорочується приблизно на 50 %. Загальний обсяг забруднених газів складає більше ніж  $1000 \text{ м}^3$ /т коксу. Використання спеціальних відбійників дозволяє зменшити викид мілких фракцій коксу.

При мокрому гасінні вода на поверхні розжареного коксу випаровується і

у парі утворюються значні концентрації хімічних речовин, що надходять у атмосферу.

У випадку сухого гасіння коксу викид формується при температурі  $350^{\circ}\text{C}$  та містить  $50 \text{ г/м}^3$ . Сухий метод зменшує забрудненість викидів та дозволяє отримати більш якісний кокс ніж при мокрому гасінні. Останнє обумовлюється меншим забрудненням коксу речовинами, які находились в охолоджувальній воді, а також меншою кількістю згорілого вуглецю.

Для очищення викидів від пилу у коксохімічному виробництві застосовуються рукавні фільтри, скрубери Вентурі, електрофільтри. Розповсюджені рукавні фільтри з імпульсною регенерацією типу ФРІР для очищення технологічних та аспіраційних викидів на установках безпилової видачі коксу, установках сухого гасіння коксу, на коксосортуваннях, установках знепилювання коксу та інших джерелах пиловидалення.

Мокре гасіння коксу є дуже водоемним. На 1 т коксу витрачається  $1 \text{ м}^3$  води, частина якої випаровується, а інша після очищення відстоюванням повертається в цикл. Таким чином, із природних водних джерел вода не забирається.

Вода, що стікає з гасильної вежі, разом із дрібними шматочками коксу та хімічно розчиненими речовинами стікає у приймальний резервуар – відстійник (можливо використання 1–3 відстійників). Після прояснювання ця вода містить  $0,2\text{--}0,3 \text{ г/л}$  часток коксу. Шлам, який утворився у відстійниках, зневоднюється та у подальшому утилізується.

Стічні води коксохімічного виробництва поділяються на фенольні, господарчо-побутові, поверхнево-зливові, оборотного водопостачання та води від охолодження технологічного обладнання. На деяких підприємствах виділяються також і аміачні води з вмістом зважених речовин. Фенольні стічні води, що утворюються у обсязі  $200\text{--}250 \text{ м}^3/\text{год}$ , містять ряд хімічних забруднювачів, завислі речовини (до  $1000 \text{ мг/л}$ ), феноли ( $500 \text{ мг/л}$ ), ціаніди ( $1000 \text{ мг/л}$ ). Кількість фенольних стічних вод складає  $200\text{--}250 \text{ м}^3/\text{год}$ .

Частина забруднених вод утворюється з газової фази, яка виділяється з кокосових батарей. У хімічному виробництві підприємства з вод вилучається аміак (аміачна вода), феноли, толуол, ксилол, піридинова основа, сульфатна кислота тощо.

Очистка стічних вод коксохімічного виробництва проводиться механічними, фізико-хімічними та біологічними методами. Після біохімічного очищення води можуть направлятись на міські очисні споруди. У випадку використання оборотної системи очищені води проходять додаткову глибоку очистку та знесолення.

Особливістю стічних вод підприємства є те, що всі види вод забруднені фенолами. Очистка фенольних вод може здійснюватися різними способами, але звичайно очищення включає:

- очистку від завислих і смолистих речовин шляхом механічного очищення у відстійниках.

Застосовують радіальні й прямокутні відстійники – смолоуловлювачі. Тривалість відстоювання у відстійниках – смолоуловлювачах складає близько 6 год, а ефективність осадження смоли дорівнює 70-80%. При цьому концентрація знижується тільки до 200 – 300 мг/л, тому води направляються на доочищення;

- флотацію для доочищення стічних вод і більш глибокого видалення смол і олій до концентрації 60-70 мг/л;
- біологічну очистку стічних вод від фенолів, ціанідів і радонідів.

### **5.3. Виробництво чавуну та сталі**

#### **5.3.1 Доменне виробництво.**

Продуктом доменного процесу є колошниковий (доменний газ), який відноситься до технологічних викидів виробництва. На 1т чавуну, що виплавляється, утворюється 1250–1800 м<sup>3</sup> колошникового газу. Незважаючи на те, що цей газ забруднений баластом і відноситься до низькокалорійного газу (містить 30–35 % горючих речовин), його використовують як паливо для

доменних, мартенівських і коксових печей, а також в котельних установках та ін.

Крім газоподібних забруднювачів ( $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$  та ін.), у газі міститься багато пилових часток з розміром  $0,2 - 100$  мкм, що утворилися при завантаженні печі шихтою (часточки руди, коксу, агломерату, флюсу), а також часток, що утворилися при возгонки деяких складових шихти. Джерелом пилу є операції подрібнення матеріалів та їх транспортування.

Дисперсний та хімічний склад пилу та його концентрація у викидах залежить від багатьох факторів, а саме: складу шихти, технологічного режиму ведення плавки, марки чавуну. При підвищеному тиску на колошнику концентрація пилу у викиді складає  $15 - 30$  г/м<sup>3</sup>, а при нормальному –  $50 - 60$  г/м<sup>3</sup>. Пил містить оксиди, %: заліза –  $33 - 40$ , кремнію –  $8 - 15$ , кальцію –  $10 - 12$ , магнію –  $4 - 5$ , алюмінію –  $4 - 5$ . В ньому можуть бути оксиди цинку та марганцю. Вміст вуглецю складає  $30 - 32$  %. Температура газу на виході з печі –  $300 - 350$  °C.

Випуск чавуну та шлаку з печі супроводжується виділенням оксиду вуглецю, діоксиду сірки, вуглеводнів, ціаністих з'єднань.

Колошниковий газ у якості палива не може бути використаним без очищення, так як пристрої для горіння, куди він подається, дуже чутливі до наявності у ньому пилу (не більше  $5$  мг/м<sup>3</sup>).

На печах, які працюють з підвищеним тиском газів, застосовують схему очистки з дросельним пристроєм, що знижує тиск газів, а також з газовою утилізаційною безкомпресорною турбіною.

Звичайно очистка доменного газу проходить у три стадії. Груба очистка здійснюється у сухих пиловловлювачах (циклонах) до концентрації найбільш крупного пилу  $1 - 3$  г/м<sup>3</sup> (або  $5 - 9$  г/м<sup>3</sup>). При цьому осаджується  $60 - 70\%$  колошникового пилу. У більшості випадків напівтонка очистка доменного газу проходить у форсункових скруберах та низьконапірних скруберах Вентурі. Використовують дві – чотири труби з краплеуловлювачами, що працюють з

перепадом тиску до 5 кПа при швидкості газу у горловині 50 – 80 м/с та витраті води 0,2 – 0,5 л/м<sup>3</sup>. Така очистка завершується у дросельній групі. Крім використання дросельної групи, запиленість до 5–10 мг/м<sup>3</sup> може бути досягнута при тонкій очистці газу у мокрому електрофільтрі та скрубєрі Вентурі, що має перепад тиску 12–15 кПа, а також у рукавному фільтрі.

Утворений при мокрій очистці шлам відправляється на переробку, а після цього використовується при виготовленні агломерату, цементу та ін.

На рис. 5.3 приведена схема відводу та очистки доменного газу.

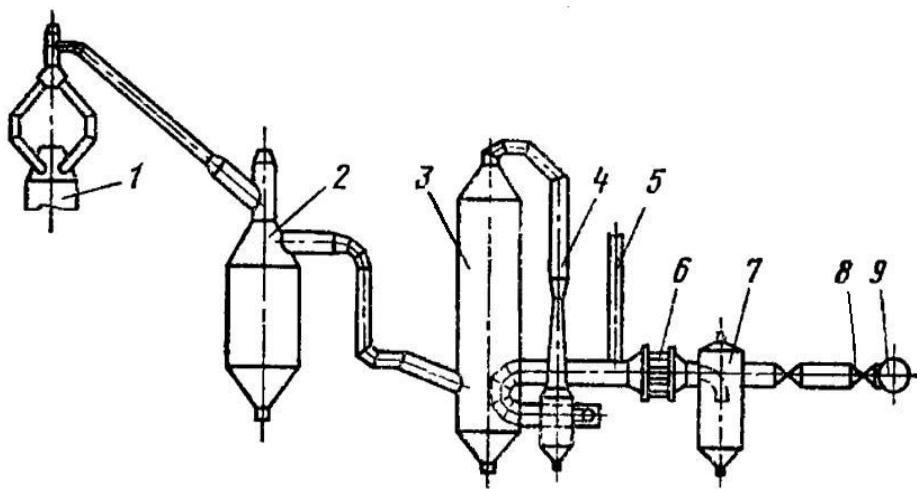


Рис.5.3 – Схема системи відводу та очистки доменного газу

1– доменна піч; 2 – сухий пиловловлювач; 3 – полий скрубєр; 4 – труби Вентурі; 5 – газопровід; 6 – дросельний пристрій; 7 – краплевловлювач; 8 – засувка; 9 – колектор чистого газу.

Газ по газопроводу від печі 1 надходить у сухий пиловловлювач 2, звідки уловлений пил періодично видаляється у великі ємності. Далі газ потрапляє у форсуночний скрубєр 3, де він охолоджується до 35–40°C та осаджується у вигляді шламу. Очищений таким чином газ поступає у труби Вентурі 4. У них пил поглинається краплями води, а далі доочищається у дросельному пристрої 6. Пристрій не тільки знижує тиск газу, але і очищує його, так як функціонує подібно трубі Вентурі. Газопровід 5 призначений для врівноваження тиску

шляхом відводу газу у колошник. Пройшовши через краплевідділювач 7, газ через засувку 8 надходить у колектор чистого газу 7.

З метою економії енергетичних ресурсів доменні печі обладнуються газовими утилізаційними безкомпресорними турбінами (ГУБТ). Вони необхідні для виробництва енергії за рахунок використання підвищеного тиску доменного газу. Якщо турбіна розташовується після системи очистки газу, то необхідність у дросельному пристрої не потрібна так як тиск газу знижується.

У випадку застосування ГУБТ система газоочищення включає: сухий пиловловлювач, полий скруббер, нерегульовані труби Вентурі, що мають краплеуловлювач. Замість труб Вентурі можлива установка мокрих електрофільтрів. На випадок зупинки ГУБТ у даних схемах дросельний пристрій повинен включатись у систему очистки викидів.

Недоліком цих схем є запилення турбін та їх зупинка, а також необхідність додаткового нагрівання газу після його охолодження до 35–40°C. Більш досконалою є система, що включає газотурбінну розширювальну станцію, що розташовується біля газоочистки. Вона містить ГУБТ, електрогенератор, підігрівач. Останній за рахунок частини газу, який подається у турбіну, забезпечує нагрів основного об'єму газу перед надходженням у турбіну до 120–140°C.

Виробничий процес одержання чавуну супроводжується неорганізованими викидами. Джерелами надходження пилу в навколишнє середовище є вентиляційні гази підбункерних приміщень доменних цехів, концентрація пилу в яких досягає 500 мг/м<sup>3</sup>. Викиди пилу здійснюються при транспортуванні сировини, а також на ливарному подвір'ї. При цьому основне виділення пилу та газоподібних забруднювачів на ливарному подвір'ї має місце біля леток, жолобів та зливу розплаву з ковша.

Очистка забрудненого повітря аспіраційних систем здійснюється у батарейних циклонах, скруберах, сухих електрофільтрах. Шляхами зменшення

надходження забруднюючих речовин у навколишнє середовище є герметизація обладнання та пристроїв, а також удосконалення систем аспірації.

Перспективне для зменшення викидів металургійного виробництва використовувати вугілля, що не коксується, а також гази – відновники для заміни металургійного коксу. Можливими стають альтернативні технології виробництва заліза. Розроблена принципово нова технологія виробництва залізорудної сировини та металів за допомогою водню. Таку технологію вже впроваджують при збагаченні руди, але її запровадження на металургійних комбінатах затримується зважаючи на економічний фактор.

Чорна металургія є потужним джерелом викидів  $\text{CO}_2$ . Частка цієї сполуки у загальних світових викидах від промислових джерел складає 30%. При цьому найбільше вуглекислого газу утворюється при виробництві чавуну (рис.5.4).

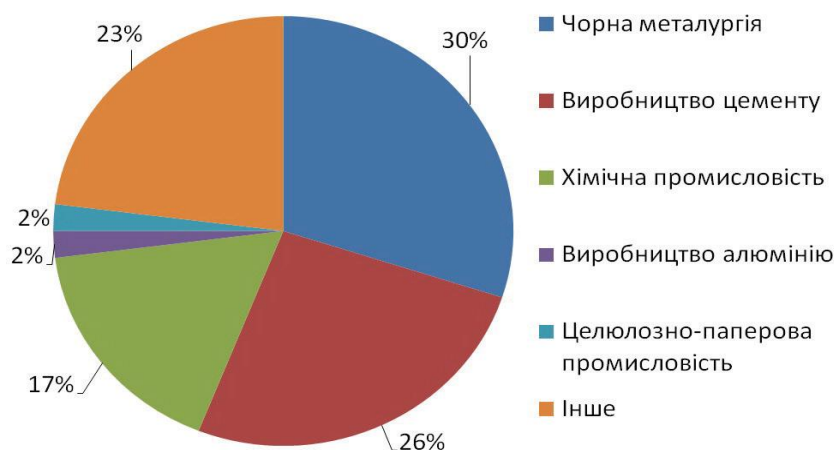


Рис. 5.4 – Розподіл прямих викидів  $\text{CO}_2$  за галузями промисловості в гірничо-металургійному комплексі України (%).

Основними джерелами утворення діоксиду вуглецю є вугілля (94,2%) та вапняк (при умові відсутності вуглеводних палив). Цей факт зобов'язує розробляти заходи щодо зменшення викидів  $\text{CO}_2$  та таким чином протидіяти зміні клімату. Скорочення утворення вуглекислого газу може бути забезпечене застосуванням низьковуглецевих технологій, технології уловлювання і

зберігання вуглецю, а також підвищенням енергетичної ефективності виробничих процесів.

При цьому слід зазначити, що традиційно на підприємствах колошниковий газ, що містить близько 40% CO+CO<sub>2</sub>, майже повністю утилізується для нагрівання дуття, опалювання коксових батарей та нагрівальних печей, генерування пари та електроенергії.

Заходи по протидії зміні клімату з боку доменного виробництва, зокрема включають:

- створення альтернативних процесів виробництва первинного металу, у тому числі методом прямого відновлення заліза;
- заміна, модернізація та технічне переоснащення доменних печей, що дозволить підняти рівень одержання чавуну до світових стандартів;
- використання нових видів енергоносіїв, зокрема, замінників коксу, продуктів газифікації вугілля, гарячих відновлювальних газів, коксового та конвертерного газів;
- поліпшення якості залізорудної сировини та коксу для доменної плавки, використання промислових відходів гірничодобувного та металургійного виробництва як джерел вторинної мінеральної сировини;
- впровадження технології використання пиловугільного палива;
- вдосконалення обладнання і технології доменного процесу (застосування комплексів з усереднювання складу сировини, автоматизованої конвеєрної шихтоподачі з відсівом дрібняку, створення вискоєфективних конструкцій нагрівачів повітря, сучасних систем охолодження доменних печей, впровадження автоматизованих систем управління технологічним процесом плавки та контролю за станом обладнання доменних печей тощо);
- спорудження засобів утилізації енергії доменного газу та тепла відхідних газів повітрянагрівачів доменних печей.

У доменному виробництві вода витрачається на зволоження шихти, охолодження доменних пічок та арматури повітрянагрівачів, грануляцію

шлаку, охолодження чавуну на розливальних машинах та підбункерних приміщеннях.

У виробництві чавуну утворюються такі типи стічних вод:

- не забруднені (умовно чисті), води, які використовуються у охолоджувальних процесах;
- води системи газоочисток доменних печей, що забруднені завислими речовинами (до 200 мг/л ), а також розчинними забруднювачами;
- води, використані при грануляції шлаку з концентрацією зважених речовин до 1000 мг/л. Такі води містять хімічні речовини;
- забруднені завислими речовинами (до 500 мг/л) та хімічними сполуками, серед яких найбільшу кількість має розчинне вапно.

В цеху очистки доменного газу вода поглинає механічні домішки із газу, а також охолоджує газ. Крім того, вода транспортує поглинуті домішки, розчиняє газ та деякі мінерали. Використовується оборотна система водопостачання, що передбачає направлення води з температурою до 800° С від холодильників пічок та арматури водонагрівачів у приймальний резервуар та на охолодження. На 1т чавуну витрачається до 24 м<sup>3</sup> води, що у тому числі включає 3–4% свіжої води. Вода, що охолоджує чавун у розливальних машинах, приблизно на 20% випаровується. Так як у таку воду попадають шматки чавуну та вапна, то для подальшого використання необхідно провести її очищення у відстійниках.

### **5.3.2. Виробництво сталі.**

Незважаючи на те, що українське металургійне виробництво переходить до конверторного виробництва сталі, мартенівським способом ще виплавляються великі обсяги сталі. При виробництві сталі за мартенівським способом димові гази від мартенівських печей у своєму складі містять забруднюючі речовини у вигляді пилу (65% – 92 % оксидів заліза), оксиди азоту, діоксиди сірки, оксид вуглецю. Якщо мартенівська піч працює з

продувкою киснем, то приблизний склад мартенівського пилу наступний, %:  
 $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 92,7;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 0,9;  $\text{CaO}$  – 1,65;  $\text{MgO}$  – 0,9;  $\text{MnO}$  – 1,1;  $\text{SiO}_2$  – 0,8.

Мартенівські газы мають температуру 600 – 700<sup>0</sup>С, тому звичайно за великими печами встановлюються котли-утилізатори, проходячи через які газы охолоджуються до 220 – 250<sup>0</sup>С.

Залежно від періодів плавки, а саме: заправка, завалення, злив чавуну, плавлення, кипіння, доведення, випуск змінюється секундний валовий викид шкідливих речовин, характерний для кожного з цих періодів. При цьому на печах, опалювальних природним газом, максимальні викиди сірчистого ангідриду з димовими газами спостерігаються в період зливу рідкого чавуну (на протязі 10 – 15 хвилин).

Всі неорганізовані викиди потрапляють в атмосферу через аераційні ліхтарі, організовані викиди забруднюючих речовин від мартенівських печей – через димарі.

У таблиці 5.3 приведені значення валових викидів мартенівського цеху.

Таблиця 5.3 – Валові викиди шкідливих речовин мартенівського цеху

| Найменування                                           | Викиди, т/рік |
|--------------------------------------------------------|---------------|
| 1. Пил загальний, у тому числі:                        | 992           |
| – заліза оксид                                         | 560           |
| – кальцію оксид                                        | 53            |
| – марганець та його сполуки,                           | 9             |
| – пил неорганічний, який містить $\text{SiO}_2 < 20\%$ | 283           |
| – пил графіту                                          | 86            |
| 2. Газоподібні домішки:                                |               |
| – азоту діоксид                                        | 2031          |
| – ангідрид сірчистий                                   | 280           |
| – вуглецю оксид                                        | 2173          |

Значна кількість пилу, утвореного у печі, осаджується у пристроях, через

які проходить газ перед газоочищенням. Очистка газів здійснюється двома способами: у електрофільтрах та у скруберах Вентурі, які дозволяють знизити концентрацію пилу до  $100 \text{ мг/м}^3$ .

У процесі киснево-конвертерного виробництва утворюється  $60\text{--}80 \text{ м}^3$  забруднених газів на тонну сталі. Температура конверторного газу наближається до температури плавлення металу і приблизно дорівнює  $1400\text{--}1800^\circ\text{C}$ .

Склад газу залежить від сировини, конструкції плавильного агрегату та умов плавки. Конверторний газ, в основному, складається з CO ( $80\text{--}90\%$ ) та CO<sub>2</sub> ( $7\text{--}8\%$ ). Також у ньому міститься  $2\text{--}5\%$  H<sub>2</sub> та незначна кількість N<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> й інших газів. Вміст сірки визначається її вмістом у вапняку і може складати  $105\text{--}205 \text{ мг/м}^3$ .

Разом з газоподібними забруднювачами з конвертера виділяється велика кількість парів металу та краплин. Конвертерний пил переважно складається з оксидів заліза і містить  $60\text{--}65\%$  Fe,  $2\text{--}6\%$  Mn, решта – SiO<sub>2</sub>, CaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> та інші оксиди. Розмір часток пилу – від  $0,1$  до  $10 \text{ мкм}$ , а концентрація складає  $2\text{--}5 \text{ г/м}^3$ .

Зважаючи на характеристики газу він є цінним енергетичним ресурсом. Спосіб відводу газу від конвертера суттєво впливає на вміст, кількість, температуру, запиленість та інші параметри конвертерного газу, що надходить на газоочищення. Існують такі способи відведення газу:

- з повним допалюванням конверторного газу (коефіцієнт  $a > 1$ );
- з частковим допалюванням конверторного газу (під час максимального газовиділення  $a = 0,3\text{--}0,5$ );
- без допалювання конверторного газу ( $a \leq 0,1$ ).

У випадку повного допалювання горючі компоненти газу спалюються шляхом розбавлення їх повітрям, яке вводиться у проміжок між конвертором та охолоджувачем. При цьому у порівнянні з первинним станом утворення газів у конверторі, пропорційної добавленій кількості повітря збільшуються обсяги газів, що потребують охолодження та очищення від забруднювачів.

При відводі газів без доступу повітря пилові частки мають більш крупні розміри, що потребує врахування при виборі системи очищення. Наявність мілких часток пилу підвищує вимоги до газоочищення.

Гази перед очищенням повинні пройти охолодження до температури 200 – 300<sup>0</sup> С. Цього можливо досягти такими способами як розбавленням повітрям; вприскуванням води; облаштуванням газоходу камінами або екранами, які охолоджуються водою; утворенням пари у котлах-утилізаторах; комбінуванням способів.

Основним способом очищення газу у теперішній час є мокрий спосіб очищення, що здійснюється у трубах Вентурі різної модифікації. Поширеною є очистка з використанням прямокутних регульованих труб Вентурі. При цьому першим ступенем є скруббер або низьконапірні труби Вентурі, а другий – високонапірні труби Вентурі з регульованим перерізом горловини.

Технологічна схема мокрої очистки газів конверторного виробництва приведена на рис.5.5.

Поряд з мокрою системою очищення газів застосовується і сухе очищення з використанням фільтрів (електричних та тканинних). Сухі електрофільтри працюють при температурі 140–160<sup>0</sup>С та вологості приблизно 70 г/м<sup>3</sup>. Такі фільтри не можуть бути використані в системі відводу газу без допалювання. Вміст горючих компонентів у газах, що поступають на очищення у електрофільтр, повинен бути меншим нижньої межі займання компонентів. Умовою застосування рукавних фільтрів є обмеження температури газу, що очищається (не більше 150<sup>0</sup> С). Звичайно його температура складає 100–110<sup>0</sup>С.

Система очистки газу визначає схему газовідвідного тракту. Наприклад, газовідвідний тракт конверторного газу може включати котел-охолоджувач, апарати очищення, нагнітач газу, пристрої допалювання чи газгольдер, арматуру, газопровід, систему доочищення газу у електрофільтрі.

Пил та шлами конверторного виробництва після попередніх операцій використовують у якості добавки до агломераційної шихти, що інтенсифікує аглопроцес.

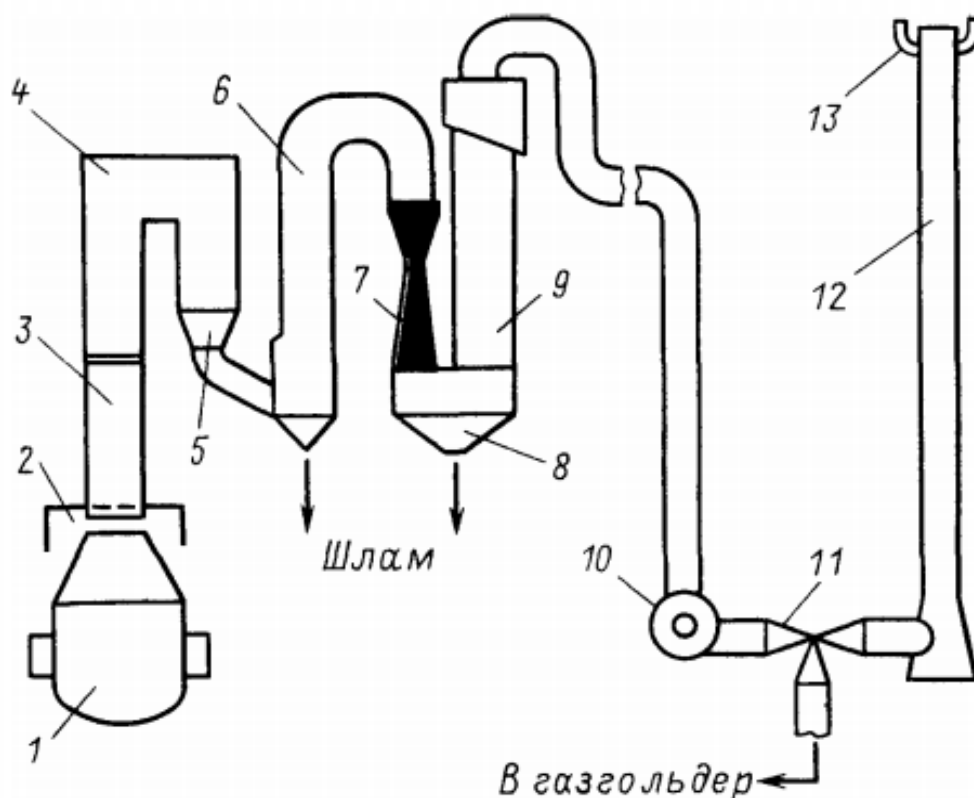


Рис. 5.5 – Технологічна схема мокрої газоочистки

1 – конвертер; 2 – «спідниця» конвертера; 3 – кесон; 4 – стаціонарний газохід; 5 – вузол уприскування води; 6 – порожнистий скруббер; 7 – прямокутна труба Вентурі; 8 – бункер краплеуловлювача; 9 – краплеуловлювач; 10 – димосос; 11 – клапан; 12 – свічка (труба); 13 – допалюючий пристрій.

Шлам, утворений при застосуванні мокрої газоочистки, потребує зневоднення. Використовується згущення шламу у радіальних згущувачах, вакуумне фільтрування. Сушка осаду здійснюється у сушильних барабанах. Разом з тим, на передових підприємствах вологий конверторний шлам змішують з пилом вапняку та використовують у агловиробництві. Шламовапнякова суміш застосовується як інтенсифікатор агломераційного процесу та компонент, що поліпшує якість агломерату.

За обсягами викиду парникових газів виробництво сталі посідає друге місце у гірничо-металургійному комплексі. Для скорочення утворення та

скорочення надходження CO<sub>2</sub> у довкілля пропонується проведення наступних заходів:

- виведення з експлуатації та заміна мартенівських печей на конвертери та електроагрегати; будівництво нових металургійних підприємств, у т.ч. міні-металургійних заводів, використання методів спеціальної електromеталургії;

- зменшення енерговитрат у сталеплавильному виробництві шляхом застосування сучасних технологій та обладнання, створення гнучких технологій наскрізного виробництва сталі з використанням агрегатів позапічної обробки сталі, «печі-ковша», вакууматорів і машин безперервного лиття заготовок, підвищення стійкості футеровки сталеплавильних агрегатів за рахунок використання ефективних вогнетривів;

- розробка науково-технічних засад з використання способів безперервного розливу сталі нового покоління та ливарно-прокатних модулів.

Металургійний комплекс відноситься до найбільш потужних споживачів води та джерелом утворення забруднених стічних вод. При виробництві 1 т виплавленої сталі витрачається 150 – 250 м<sup>3</sup> води, частина якої утворює забруднені стічні води.

Стічні води мартенівського виробництва містять дрібнодисперсні зважені речовини, концентрація яких коливається від 2 до 10 г/л. При мокрій очистці забруднених викидів електропечей утворюється шлам, який містить завислі речовини (2 – 3 г/л), оксиди заліза, іони важких металів, сполуки сірки. Такі води мають не стабільне значення рН, яке залежить від марки сталі, що виплавляється, технології ведення процесу. З урахуванням цього стічні води для використання у системі зворотного водопостачання потребують нейтралізації, для чого використовують вапняне молоко.

Металеві домішки, що містяться у стічних водах металургійного виробництва, видаляються відстоюванням та подальшим фільтруванням. Очищені таким чином стічні води можуть використовуватись у зворотному водозабезпеченні, але у випадку необхідності більш ефективної очистки вод застосовується очистка зворотнім осмосом, ультрафільтрація.

### ***Утилізація відходів металургійного виробництва.***

Особливістю металургійного виробництва в Україні є відносно низький середній коефіцієнт виходу готової продукції. Обсяг кінцевої продукції складає не більше 30% з десятків тисяч тонн сировини, що щорічно споживають металургійні підприємства України, а решта цієї сировини перетворюється на відходи виробництва

У доменному виробництві утворюються багатоннажні відходи, що складаються з флюсів, рудної маси, золи коксу та ін. Вихід доменних шлаків становить 390–590 кг/т чавуну.

Шлаки чавунного та сталеплавильного виробництв містять цінні елементи, до яких відноситься силіцій, магній, кальцій, алюміній, ферум, манган. Вони мають форму оксидів та знаходяться у шлаках у такому співвідношенні: CaO 29–30 %, MgO 0–18 %, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 5–23 % і SiO<sub>2</sub> 30–40 %. У невеликій кількості в них містяться оксиди заліза 0,2–0,6 % і мангану 0,3–1 %, а також сірки 0,5–3,1 %. Утилізація доменних шлаків досягає 80%.

Звичайно шлаки піддають грануляції за допомогою різкого охолодження водою, газом, а також парою. Доменні, сталеплавильні шлаки є сировиною для виробництва будматеріалів та мінеральних добрив. Значні обсяги металургійного шлаку утилізуються при виробництві цементу у якості шлакових в'язучих: безклінкерних (сульфатношлакові і вапняне-шлакові), шлаколужних, а також шлакопортландцементу.

Подрібнені відвальні металургійні шлаки використовують для одержання шлакового щебеню, а з використанням пошарового зливу розплавленого шлаку – литого щебеню.

За спеціальною технологією спучування з металургійних шлаків виготовляють шлакову вату та шлакову пемзу, які є теплоізоляційним матеріалом. У подальшому з шлакової пемзи одержують легкий фракційний щебень. На основі шлаків металургійного виробництва отримують корисні добавки до бетонів. У якості заповнювачів застосовують литий чи відвальний

щебень, а також гранульований доменний шлак. У технології будівництва доріг та асфальтобетонних покриттів використовують шлаковий щебінь. Крім того, з металургійних шлаків можливо виробляти камінь для доріг, бордюрів та підлоги.

Ще одним корисним напрямком застосування шлаків є одержання шлакоситалів, які використовуються у будівництві. Вони мають унікальні властивості: міцність та легкість. Плитами з шлакоситалів лицюють будівельні конструкції, а також з шлакоситалів виробляють ізолятори, труби та ін.

Мінеральний склад шлаків та їх фізико-хімічні властивості дозволяють широко використовувати металургійні шлаки для гідротехнічних споруд, зокрема, до яких відносяться дамби, канали та ін.

Особливо цінними є шлаки кольорової металургії, які крім оксидів заліза, кремнію, алюмінію, кальцію та магнію, містять Cu, Co, Zn, Pb, Cd, а також рідкісні метали. Такі шлами підлягають комплексній переробці з вилученням кольорових та рідкісних металів.

Шлами та пил газоочисток, які утворились у агломераційному, доменному, сталеплавильному виробництвах, використовуються як у основному виробництві, так і в інших галузях промисловості (при виробництві цементу, фарб, барвників). Шлами багатьох металургійних підприємств містять 10 – 13 цінних елементів. Серед них Mn, Cd, Cr, Zn, Pb, Fe, які вилучають з відходів різними способами та у подальшому корисно використовують.

Шлами, утворені при очищенні викидів агломераційного виробництва вапняковим способом, містять сполуки сірки. Такі шлами рекомендується застосовувати у будівельній галузі та у сільському господарстві для підкислення ґрунтів.

Відходи виробництва нерудних матеріалів, що використовуються як вогнетриви, є ресурсоцінними. Їх можливо використовувати як наповнювач вогнетривкого бетону та деяких вогнетривких виробів.

## 6. Одержання деяких кольорових металів

Кольорова металургія в Україні не набула такого розвитку як чорна, так як у країні існує брак власної сировини. Разом з тим провідними галузями кольорової металургії України є: алюмінієва, титанова, магнієва, феронікелева. Підприємства кольорової металургії добувають, збагачують та переробляють поліметалічні руди, які містять кольорові метали, а також здійснюють переробку вторинної сировини.

### 6.1. Виробництво алюмінію.

Алюміній широко застосовується в авіаційній, автомобільній, електротехнічній промисловості, а також у приладобудуванні та інших галузях промисловості. Цей метал відноситься до поширених в земній корі елементів: у вигляді сполук він входить до 270 мінералів. За обсягами промислового виробництва серед кольорових металів алюміній знаходиться на першому місці.

Алюміній міститься в рудах у вигляді мінералів, що містять глинозем ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), а також оксидні сполуки сірки та кремнію. Такими мінералами є:

- корунд – 100%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ;
- діаспор або беміт –  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  – 85%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ;
- гібсит або гідраргіліт –  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  – 65,4%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ;
- нефелін –  $(\text{Na}_x\text{K}_y)\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$  – 32-36%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ;
- алуніт –  $(\text{Na}_x\text{K}_y)\text{SO}_4 \cdot \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 4\text{Al}(\text{OH})_3$  – 37-39%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ;
- каолініт –  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  – 39,5%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ;
- кіаніт або силіманіт –  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{SiO}_2$  – 63,2%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

Основною сировиною для отримання алюмінію є боксити. Вони складаються з гідраргіліту, беміту або діаспору і невеликої кількості корунду та алюмосилікатів. До складу бокситів входять 60 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 13%  $\text{SO}_2$ , 23 %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , 10 %  $\text{TiO}_2$ . У якості домішок у бокситах можуть бути присутні V, Cr і Ga. Для виробництва алюмінію використовують боксити з вмістом глинозему 48–60 %.

Сировинною базою алюмінію України є родовища бокситів, нефелінових руд та алунітів. Але їх запаси незначні і знаходяться на Закарпатті, в Приазов'ї та на Українському щиті. Середній хімічний склад бокситів України визначається як: 38 %Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 9% SiO<sub>2</sub>; 35% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> та до 1 % CaO. Такі боксити не є якісними і тому заводи по одержанню алюмінію працюють з використанням імпортової сировини (Гвінея, Австралія, Ямайка).

Виробництво алюмінію включає два процеси: виділення глинозему з руди та його електроліз, що здійснюється у розчині кріоліту Na<sub>3</sub>AlF<sub>6</sub>.

Існують різні способи одержання глинозему з бокситів, але найбільш розповсюдженим є лужний. Переважну більшість глинозему з бокситів високої якості, що мають низький вміст SiO<sub>2</sub>, та інших домішок, одержують методом Байєра.

Боксит подрібнюють, висушують та розмелюють у млинах з додаванням невеликої кількості води. Масу поміщають у автоклав і піддають вилуговуванню концентрованим розчином гідроксиду натрію при температурі 100 –250<sup>0</sup>С.

Оксид алюмінію, що знаходиться у бокситі, переходить у розчин у вигляді алюмінату натрію за реакцією:



Зниження температури та розбавлення алюмінату натрію призводить до його гідролізу, в результаті чого утворюється осад Al(OH)<sub>3</sub>. При цьому сторонні домішки, які входять у склад бокситу, легко відділяються від гідрооксиду алюмінію. Цей баласт називається червоним шламом, так як маса має червоно-бурий колір; вона містить сполуки заліза, кремнію, титану та інших елементів.

Після проведення фільтрування осад Al(OH)<sub>3</sub> промивають, висушують, а потім прожарюють у обертових печах при температурі 1200<sup>0</sup>С. При цьому гідрооксид алюмінію перетворюється в α – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Небажаною домішкою у сировині є SiO<sub>2</sub>. Для очищення сировини від

цього оксиду одержану після помелу масу обробляють паром, в результаті чого основна частина  $\text{SiO}_2$  видаляється з бокситу.

Боксити з високим вмістом кремнезему можливо переробляти методом спікання. При цьому сировину спікають із содою та вапняком, які утворюють з  $\text{SiO}_2$  силікати.

Існує спосіб одержання глинозему з нефелінів, при якому додатково виробляють поташ ( $\text{K}_2\text{CO}_3$ ) та соду. Шлам, що утворився при вилуговуванні, використовують для виробництва клінкеру, з якого одержують цемент.

Утворений  $\text{Al}_2\text{O}_3$  засипають у електролізери (рис. 6.1), що містять розплав, як правило, штучного кріоліту.

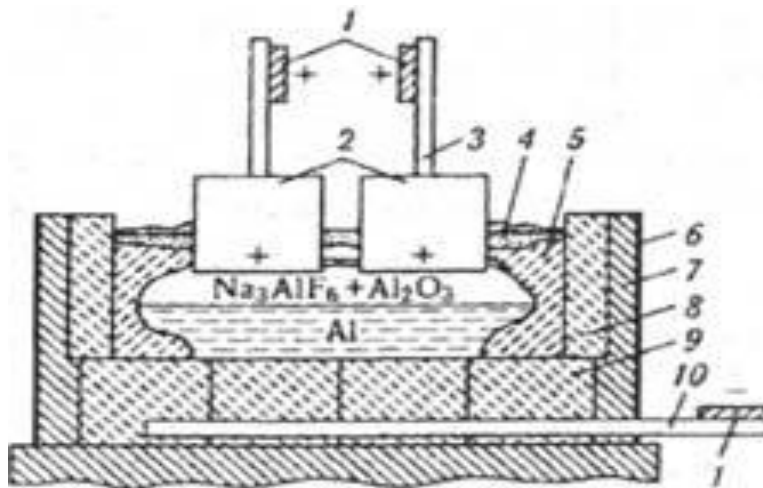


Рис. 6.1 – Схема електролізної ванни для одержання алюмінію

1– шини для підведення струму; 2 – аноди; 3,10 – струмовідводи для електродів; 4– глинозем; 5 – шар затверділого електроліту; 6 – кожух; 7– футерівка з шамоту; 8 – бічні вугільні блоки; 9 – вуглецеві катодні блоки.

Вміст глинозему у електролітичній ванні повинен наближатись до 8 %. При температурі  $900 - 1000^\circ\text{C}$  проходить дисоціація глинозему. Звичайно електроліз розплаву проводять при температурі  $950^\circ\text{C}$ . При проходженні струму (400 та вище кА) з глинозему у рідкому стані виділяється алюміній, що збирається на дні ванни. Катодом є дно ванни, а анодом – вугільні блоки (1,5x0,5 м). Одержаний у процесі електролізу алюміній один раз у 2–4 доби

зливають із ванни за допомогою вакуумного ковша. Такий алюміній містить різні включення (електроліту, вугілля та вогнетривких матеріалів), а також гази (водень, монооксид вуглецю та ін.). Неметалеві домішки та гази з алюмінію видаляють хлоруванням розплаву, що проводять продуванням на протязі 10 –15 хв. Утворений  $AlCl_3$  спливає разом з домішками на поверхню у вигляді шлаку. Після рафінування і відстоювання чистота алюмінію дорівнює 99,85 %.

Для одержання алюмінію більшої чистоти необхідно проведення електролітичного рафінування, яке дозволяє видалити домішки (Fe, Si, Ti, Cu та ін.) до чистоти алюмінію, рівної 99,9965%. Метал підвищеної якості (99,9999% Al) одержують за допомогою зонної плавки алюмінію.

З екологічної точки зору виробництво алюмінію є надзвичайно шкідливим для навколишнього середовища. Забруднюючими речовинами є пил, який у тому числі містить особливо небезпечні речовини (свинець, миш'як), сполуки сірки. В процесі виробництва 1 т алюмінію утворюється 27 кг фтору. Концентрація забруднюючих речовин у викидах складає ( $mg/m^3$ ): пил– 300 – 700; HF – 200– 300; смолисті речовини – 30– 40.

На передових підприємствах реалізується система уловлювання сполук фтору за допомогою глинозему, який у подальшому направляється в основне виробництво. Таким чином, створюється замкнутий цикл виробництво – газоочистка.

Виробництво алюмінію потребує використання великої кількості електричної енергії. Вирішення проблем енергозощадження пов'язується з використанням відновлювальної енергетики.

Одержання алюмінію супроводжується утворенням відходів. Червоний шлам направляється у шламосховище, а після його закриття, територія, на якій воно знаходиться, відновлюється. З іншого боку, шлам є цінним вторинним ресурсом, з якого вилучають скандій, також його використовують для одержання деяких рідкоземельних металів, виробництва чавуну та ін.

В Україні значна частка алюмінію отримується шляхом вторинної

переплавки алюмінієвого брухту. Так, щорічно Броварський алюмінієвий завод виробляє більше 20 тис. т алюмінію.

## **6.2. Одержання титану.**

Титан належить до елементів, які є досить поширеними у природі. З 60 мінералів, що містять титан, промислове значення для одержання цього металу мають рутил ( $\text{TiO}_2$ ) та ільменіт. Рутил містить до 10% домішок оксидів заліза та інших металів. Вміст домішок у ільменіті дещо інший.

Ільменіт відноситься до титаномagnetитових руд, так як у природі знаходиться у суміші з магнетитом ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) і гематитом ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). Домішками є Al, Nb, V, Cr, Co, Ni. Вміст титану у звичайних рудах досягає 20%, але у концентратах, які отримуються при збагаченні руд, концентрація оксиду титану досягає 60 %. Звичайно ж титанові концентрати містять: 43%  $\text{TiO}_2$ ; 28% FeO; 21%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ; 1% CaO; 2%  $\text{SiO}_2$ ; 2,5%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; 2,5% MgO.

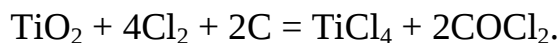
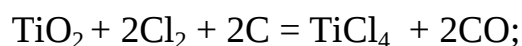
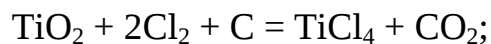
У теперішній час у промисловому масштабі губчастий титан отримують за магнійтермічним способом, який був запропонований Кроллем ще у 40-х роках минулого сторіччя. Такий спосіб надає можливості одержати якісний титан, але технологія є багато передільною та енерговитратною. Суть способу полягає у збагаченні титанових руд, виплавки з них титанового шлаку з наступним отриманням з нього чотирехлористого титану та відновленні з останнього металевого титану магнієм.

Ільменітовий концентрат плавлять у суміші з коксом (антрацитом, деревним вугіллям) у руднотермічних печах, де оксиди заліза і титану відновлюються. Залізо насичується вуглецем, в результаті чого утворюється чавун, а нижчі оксиди титану переходять у шлак. Чавун і шлак розливають у виливниці.

Титановий шлак, що утворився у цьому процесі, містить 80 – 90%  $\text{TiO}_2$ , 2 – 5%, FeO і домішки  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , CaO, MgO.

Газоподібний тетрахлорид титану одержують шляхом хлорування

брикетів подрібненого шлаку або рутилового концентрату з вугіллям за температури 600-800°C. При цьому мають місце реакції:



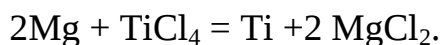
Температурні умови печі приводять до інтенсивного випаровування  $\text{TiCl}_4$ , при якому проходить захоплення летких хлоридів домішок ( $\text{SiCl}_4$ ,  $\text{FeCl}_3$  та ін.). Домішки хлоридів магнію та кальцію утворюють рідину, з якої у подальшому одержують чисті метали.

З ціллю видалення домішок з тетрахлорид титану суміш направляється у конденсаційну установку, що дозволяє розділити хлориди завдяки відмінності температур кипіння. Після конденсації  $\text{TiCl}_4$  відстоюють від твердої фази та піддають очищенню у спеціальних установках методом ректифікації.

Тетрахлорид титану після ректифікації може містити залізо, ванадій та кремній (не більше 0,01% кожного). Із хлорованого шлаку одержують біля 90% титану, а з очищеного тетрахлориду титану – 95%.

Титан з тетрахлориду титану відновлюється в реакторах – ретортах, що встановлюються у електро- або газову піч при температурі 950–1000°C. Схема апарату відновлення, розміщеного в печі, приведена на рис. 6.2.

Після завантаження в реактор чушкового магнію повітря відкачується, порожнина реактора заповнюється аргоном, а далі – пароподібним  $\text{TiCl}_4$ . Між речовинами відбувається реакція:



Тверді частки титану спікаються в пористу масу, що являє собою губку, а рідкий  $\text{MgCl}_2$  випускаються через летку реактора.

Титанова губка містить 35–40% магнію, хлористого магнію та деяких домішок. Для видалення з титанової губки цих домішок її нагрівають до температури 900–950°C у вакуумі. Титанові губки плавлять методом вакуумно-дугового переплаву. Вакуум в печі охороняє титан від окислення і сприяє очищенню його від домішок. Отримані злитки титану мають дефекти, тому їх

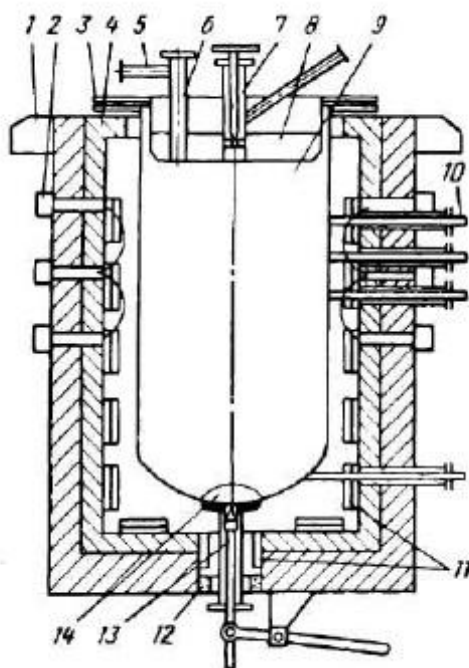


Рис. 6.2 – Схема апарату відновлення, розміщеного в печі  
 1 – опора печі; 2 – колектори подачі і відведення повітря; 3 – водоохолоджуване фланцеве з'єднання; 4 – футеровка печі; 5 – штуцер вакуумування та подачі аргону; 6 – вузол заливки магнію; 7 – вузол подачі  $TiCl_4$ ; 8 – кришка реактора; 9 – реторта; 10 – контактні термометри; 11 – нагрівачі; 12 – пісочний затвор; 13 – шток зливного пристосування; 14 – помилкове днище

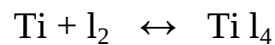
вдруге переплавляють. Після цього чистота титану становить 99,6 – 99,7%. Після вторинного переплаву злитки використовують для обробки тиском.

Виробництво губчастого титану магнієтермічним методом є маловідхідним. Відходи металевого титану практично повністю використовуються при виробництві титану марки ТГ-ТВ, що направляється в чорну металургію.

Титанову губку дроблять і ретельно сортують. Найчистішу губку спрямовують на переплавлення; низькосортну, що містить включення, хлоридів, брикетують і використовують як розкиснювач сталі у чорній металургії. Тому виробництво губчастого титану магнієтермічним методом є маловідхідним. Для отримання з титану і його сплавів відповідальних виробів необхідно забезпечити підвищену чистоту титану, що регулює такі властивості

як пластичність, зварюваність, а також термостійкість. В титановій губці не повинно бути більше, % 0,012 Cl<sub>2</sub>; 0,1 O<sub>2</sub> та 0,04 N<sub>2</sub>.

Чистоту титану підвищують йодитним методом, що базується на реакції:



При температурі 200 – 250<sup>0</sup>C утворюється пара TiI<sub>4</sub>, а при 1300<sup>0</sup>C утворюється очищений Ti та пара I<sub>2</sub>. При цьому домішки C, O<sub>2</sub> та N<sub>2</sub> не переносяться йодом до чистого металу. Чистота титану складає 99,90 – 99,99%.

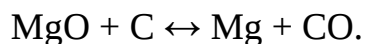
Випал руди супроводжується утворенням та надходженням у викиди великої кількості пилу, у складі якого переважають часточки діаметром 10-20 мкм та менше. Крім того, викиди містять газоподібні забруднювачі – монооксид вуглецю, оксиди сірки, оксиди азоту.

Джерелами утворення пилових викидів є процес сушки ільменіту у сушильній печі, розмел ільменіту у кульових млинах, прокалювання у печі, помел діоксиду титану у млині. Очищення газопилового викиду здійснюється сухим методом у батарейних циклонах, сучасних рукавних фільтрах з імпульсною регенерацією, мокрих скруберах. Так як при прокалюванні розкладаються сульфати та випаровується вода, то у викиди поступає діоксид сірки та сірчана кислота. Очистка таких викидів може проходити за різними схемами уловлювання SO<sub>2</sub>, у тому числі адсорбційним методом з утворенням H<sub>2</sub> SO<sub>4</sub>, у аміачних скруберах, у апаратах з провальними тарілками та ін.

### **6.3. Виробництво магнію.**

Магній у докільлі знаходиться у виді мінеральних сполук: карбонатів, силікатів та ін. Найбільш розповсюдженими та важливими є вуглекислі карбонатні породи – магнезит MgCO<sub>3</sub> і доломіт MgCO<sub>3</sub>(CaCO)<sub>3</sub>. Крім того, магній міститься у з'єднаннях з хлором: карналіті MgCl<sub>2</sub>(KCl·6H<sub>2</sub>O) та бішофіті MgCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O. Силікатні мінерали, що містять магній, – це олівін, азбест, тальк, морська пінка. Сировиною для промислового одержання магнію є карналіт, бішофіт, магнезит та доломіт.

Існують термічний та електролітичний способи виробництва магнію. Термічний спосіб передбачає відновлення  $\text{MgO}$  карбоном за реакцією:



Так як технологія одержання магнію таким способом потребує складного обладнання, а крім того, процес характеризується вибухонебезпечністю (пил магнію здатний до самоспалахування), то широкого промислового впровадження вуглецевотермічний спосіб не знайшов. Також рідко використовується і силікотермічний спосіб одержання магнію, який передбачає відновлення оксиду магнію феросиліцієм у вакуумі.

Найбільш розповсюдженим способом одержання магнію є електроліз розплаву  $\text{MgCl}_2$  або суміші  $\text{MgCl}_2$  та  $\text{KCl}$ . Цей процес складається з отримання безводного  $\text{MgCl}_2$ , його електролізу та рафінування магнію.

Хлорид магнію можливо одержати декількома способами.

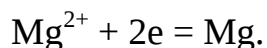
1. Зневоднення карналіту у печах киплячого шару або у трубчастих обертових печах та подальша обробка у печах-хлораторах, у яких розплав карналіту продувається хлором. Зневоднений карналіт містить, % :  $\text{MgCl}_2$  – 47–52;  $\text{KCl}$  – 40;  $\text{NaCl}$  – 5 – 8.

2. Хлорування попередньо випаленого магнезиту або оксиду магнію вдуванням хлору у шахтну електропіч.

3. Одержання  $\text{MgCl}_2$  як побічного продукту одержання титану на титано-магнієвих виробництвах.

Процес електролізу розплаву хлориду магнію проводиться у футерованих шамотом електролізерах ( рис.6.3). У якості аноду використовується графітові електроди (бруски), а катоду – сталеві.

Після плавлення хлориду магнію за температури  $718^\circ\text{C}$  утворюється розплав, що складається з іонів  $\text{Mg}^{2+}$  і  $\text{Cl}^-$ . Іони  $\text{Mg}^{2+}$  розряджаються на катоді:



Одержаний при цьому магній у рідкому стані спливає та збирається на поверхні електроліту. Одночасно на аноді виділяється та спливає із розплаву хлор:

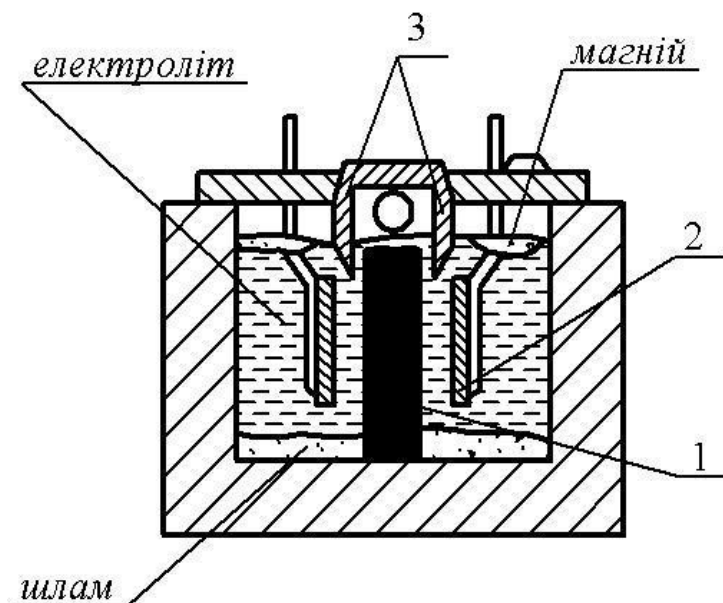
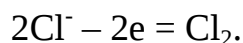


Рис. 6.3 – Схема електролізера для одержання магнію

1– графітовий анод; 2 – сталеві катода; 3 – діафрагма-перегородка



Для запобігання контакту продуктів електролізу у ванні електролізер забезпечується розподільчою мембраною (діафрагмою). Рідкий магній вилучають з печі всмоктуванням у вакуумний ківш, а хлор відкачується насосом.

У порівнянні з розглянутим процесом більш економічним є переробка карналіту разом з безводним хлоридом магнію, який одержують із магнезиту або відходів виробництва титану. У даному способі електроліт працює довше, а його забрудненість домішками значно менша.

Електролітичний магній використовують для одержання сплавів. Відпрацьований електроліт є цінним ресурсом для одержання KCl, а на його основі – карналіту.

Чорновий магній містить від 2 до 5 % домішок. Вони поділяються на металеві (залізо, алюміній, калій, натрій, кальцій) та неметалеві, що надходять у магній при його видаленні із ванни (хлориди магнію, калію, кальцію, натрію та оксид магнію).

Для рафінування магнію застосовуються такі способи як: електролітичний; відстоювання; обробка присадками цирконію, титану та мангану; сублімація у вакуумі, зонна плавка. Електролітичний магній очищають переплавом зі флюсами. У якості таких флюсів застосовують хлориди магнію, барію, кальцію, натрію тощо. Наприклад, для рафінування магнію використовують такий склад флюсу: 45%  $\text{MgCl}_2$ ; 40%  $\text{KCl}$ ; 5%  $\text{BaCl}_2$ ; 5%  $\text{CaCl}_2$  і 5%  $\text{CaF}_2$ .

Для одержання магнію підвищеної чистоти рафінування проводиться шляхом випаровування у вакуумі. Цей спосіб базується на тому, що домішки мають більш високу температуру кипіння, ніж магній. Таким чином одержують метал високої чистоти (99,99%  $\text{Mg}$ ).

У викидах підприємств по виробництву магнію міститься пил, оксиди азоту, сірки,  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{HF}$ ,  $\text{CO}$  та ін.

Викиди, що містять пил, утворюються при операціях подрібнення, транспортування, складування, вивантаження сипучих матеріалів. У якості обладнання для очищення викидів застосовуються циклони, електрофільтри, рукавні фільтри.

Гази, що утворюються при зневодненні карналіту у печах та хлоруванні оксиду магнію, а також гази катодного простору електролізерів містять значну кількість хлору та  $\text{HCl}$ . Для очистки забруднених викидів, що містять газоподібні забруднювачі, використовують двоступеневі схеми очистки: на першому ступеню поглинання водою чи гідроксидом магнію, а на другому – вапняною суспензією чи содовим розчином. Крім того, у якості поглиначів застосовують суспензію бруситу або випаленого магнезиту.

Слід зазначити, що  $\text{HCl}$  добре розчиняється у воді і при поглинанні газу ступінь очистки може досягати 96 %. Разом з тим, зрошування  $\text{HCl}$  та хлору, який майже не розчиняється у воді, вапняним молоком надає змоги на 100 % очистити викиди від  $\text{HCl}$  та на 95 % від хлору.

Пропонуються способи очистки викидів титано-магнієвого виробництва, що передбачають для зниження концентрації хлору та гіпохлориду натрію

використання суміші гідрооксиду натрію та водного розчину карбаміду.

У якості очисного обладнання для уловлювання газоподібних забруднювачів застосовуються безнасадкові скрубери, скрубери Вентурі з краплеуловлювачем, а також циклони з водяною плівкою (вентиляційні викиди).

Відходи виробництва, що містять хлорид магнію, застосовуються при очищенні стічних вод у виробництві полістиролу, а також при очистці розчинів від фтору. Пилові відходи з вмістом оксиду магнію можуть бути використані у виробництві магнезитового цементу.

### *КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДО РОЗДІЛУ*

1. Охарактеризуйте структуру металургійного комплексу України та види металургійних підприємств.
2. Визначте сучасний стан металургійного комплексу України. Які чинники вказують на розвиненість чорної металургії у країні і її місце у світовому рейтингу?
3. Охарактеризуйте головні проблеми металургійної галузі в Україні. Висловіть свою думку щодо шляхів їх подолання.
4. В чому полягають особливості класифікації металів та сплавів?
5. Приведіть визначення чавуну як сплаву. На які види поділяється чавун?
6. Які сировинні матеріали використовуються для виплавки чавуну? Які з них підлягають збагаченню?
7. В чому полягає суть процесу агломерації та одержання окатків?
8. Охарактеризуйте доменний процес одержання чавуну.
9. Приведіть основні реакції процесу виплавки чавуну.
10. Який сплав називається сталлю? З якою ціллю при виплавці сталі вводять домішки металів?

11. В чому полягає суть конверторного способу виробництва сталі? Охарактеризуйте основні етапи виплавки сталі та особливості операції продувки.
12. В чому полягає процес одержання мартенівської сталі? Чи можливо назвати даний процес екологічним? Обґрунтуйте відповідь.
13. Охарактеризуйте особливості одержання сталі у різних групах електропечей.
14. Яке паливо називається кам'яновугільним коксом? Якими властивостями характеризується кокс?
15. В чому полягає суть процесу виробництва коксу?
16. Приведіть загальну характеристику впливу виробництва чорних металів на довкілля.
17. Який негативний вплив чинить видобування мінеральної сировини на довкілля? Коротко охарактеризуйте суть впливу та заходи щодо його зменшення.
18. Які забруднені викиди та скиди утворюються у агломераційному виробництві? Що є джерелом забруднення довкілля?
19. Охарактеризуйте негативний вплив виробничих процесів одержання коксу на довкілля. Які способи та апарати використовуються для очистки викидів та скидів?
20. Визначте джерела утворення забруднюючих речовин, а також їх види, що характеризують доменне виробництво. Як здійснюється очищення викидів і скидів у даному виробництві?
21. Охарактеризуйте забруднюючі речовини, що утворюються у виробництві сталі за різними методами. Які особливості забруднення довкілля має мартенівське виробництво сталі?
22. Як здійснюється газоочистка та очистка стічних вод у виробництві сталі?
23. Які відходи утворюються при виплавці чорних та кольорових металів? Назвіть напрямки утилізації даних відходів.

24. Охарактеризуйте сировину для виробництва алюмінію. Яким способом вилучається з неї глинозем?
25. В чому полягає суть процесу електролізу при одержанні алюмінію?
26. Якими шляхами підвищується екобезпека виробництва алюмінію?
27. З якої природної сировини та за якими способами одержують магній?
28. Охарактеризуйте виробництво магнію електролізом.
29. Назвіть джерела утворення забруднених викидів у виробничих процесах одержання магнію та способи їх очищення.

### *РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА*

#### Основна

1. Верховлюк В.А. Технології одержання металів та сплавів для ливарного виробництва: навч. посіб. / В.А.Верховлюк, А.В.Нарівський, В.Г.Могилатенко. – К.: Видавничий дім “Вініченко”, 2016. – 224 с.
2. Регіональна економіка: підручник / Є. П. Качан, Г. П. Баб'як, Л. П. Запорожан [та ін.] ; за ред. Є. П. Качана. – Київ: Знання, 2011. – 670 с.
3. Основи металургійного виробництва металів і сплавів : підручник для металург. спец. вищ. навч. закл. / Д. Ф. Чернега, В. С. Богушевський, Ю. Я. Готвянський [та ін.]; за ред. Д. Ф. Чернеги, Ю. Я. Готвянського. – Київ : Вища шк., 2006. – 503 с.
4. Шатоха В.І. Сталій розвиток чорної металургії: монографія / В.І.Шатоха. – Дніпропетровськ: Дріант, 2015. – 184 с.
5. Сологуб М.А. Технологія конструкційних матеріалів: підручник / М.А.Сологуб, І.О.Рожницький, О.І.Некоз.– К.:Вища шк., 2002. – 374 с.
6. Клименко В.М. Технологія конструкційних матеріалів. Ч.І. Конструкційні матеріали: властивості, класифікація, виробництво: навч.посіб./В.М. Клименко, О.П.Шиліна, А.Ю.Осадчук. – Вінниця: УНІВЕРСУМ. – Вінниця, 2005. – 97 с.

7. Металургія кольорових металів. Ч.7. Вторинна металургія кольорових металів: підручник / В.М.Бредихін, М.О.Маняк, І.Ф. Червоний, В.О.Смирнов. – Запоріж.держ.інж.акад. – Запоріжжя, 2009. – 454 с.
8. Ігнат'єв В. С. Металургія кольорових металів. Ч.3. Теоретичні основи процесів кольорової металургії / В.С. Ігнат'єв В. С., В.І. Пожуєв, В.М. Бредихін. – Запоріжжя, ЗДІА, 2010. – 200 с.
9. Техноекологія : підручник / М. С. Мальований [та ін.]; за ред. М. С. Мальованого; Нац. ун-т "Львів. політехніка" [та ін.]. – Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2014. – 615 с.
10. Войцицький А. П. Техноекологія: підручник / А.П.Войницький, В.П.Дубровський, В.М.Боголюбов; за ред. В. М. Боголюбова. – К. : Аграрна освіта, 2009. – 533 с.
11. Архіпова Т.Ф. Технологія металів та матеріалознавство [Електронний ресурс] : конспект лекцій / Т.Ф.Архіпова Т.Ф., А.Ю.Осадчук , М.Ю.Байло. – ВНТУ, 2014. – 249 с. – Режим доступу: <http://arhipova.vk.vntu.edu.ua/file/53f9fdaa140acdf4cff603084f1274a2.pdf> . – Дата звернення: 03 червня 2019.
12. Мищенко И.М. Черная металлургия и охрана окружающей среды [Электронный ресурс]: учеб. пособ. / И.М.Мищенко. – Донецк: ГВУЗ «ДонНТУ», 2012. – 150 с. – Режим доступу: <http://znp.nmu.org.ua/pdf/2017/51/27.pdf> . – Дата обращения: 03 червня 2019.
13. Старк С.Б. Газоочистные аппараты и установки в металлургическом производстве / С.Б. Старк. – М.: Металлургия, 1990. – 400 с.
14. Айрапетян Т.С. Водне господарство промислових підприємств: навч. посіб. / Т.С. Айрапетян. –Х: ХНАМГ, 2010. –280 с.
15. Касимов А.М. Современные проблемы и решения в системе управления опасными отходами / А.М.Касимов, В.Т.Семенов, Н.Г. Щербань, В.В.Мясоедов. – Харьков: ХНАГХ, 2008. – 510 с.

16. Нестеренко Т.М. Виробництво алюмінієвих сплавів з рудної та вторинної сировини: навч. посіб. / Т.М. Нестеренко, О.М.Нестеренко, Г.О.Колобов, В.П.Грицай. – К. : Вища шк., 2007. – 208 с.

17. Білецький В.С. Технологія збагачення корисних копалин / В.С.Білецький, В.О.Смирнов. – Донецьк: Східний видавничий дім, 2009. – 272 с.

#### Додаткова

18. Титанова галузь: світові тенденції та українські реалії [Електронний ресурс] / Центр дослідження корпоративних відносин. Аналітична група Da Vinci. – Київ. – Режим доступу: [http://corporativ.info/editor/userimages/Titan2014\\_analitics.pdf](http://corporativ.info/editor/userimages/Titan2014_analitics.pdf) . – Дата звернення: 03 червня 2019.

19. Цибка М. Ресурсоефективне та чисте виробництво [Електронний ресурс] : навч. посіб. / М. Цибка, К.Романова, А. Варфоломеев. – ЮНІДО, ЦРЕЧВ. – Режим доступу: <http://www.recpc.kpi.ua/images/materials/Primer%20ukr.udf>. – Дата звернення: 03 червня 2019.

20. Собкевич О.В. Пріоритети інвестиційного забезпечення структурних реформ у промисловості України / О.В.Собкевич, А.В.Шевченко, А.І.Сухоруков, Є.В.Бєлашов. – К.: НІСД, 2014. – 57 с.

21. Амоша О.І. Розвиток металургійної смартпромисловості в Україні: передумови, проблеми, особливості, наслідки / О.І.Амоша, В.А.Нікіфорова: науково-аналітична доповідь. – НАН України. Ін-т економіки пром-сті. – Київ, 2019. – 67 с.

22. Проскурня А.Я. Конструкційні та вогнестійкі матеріали в теплоенергетиці [Електронний ресурс]: конспект лекцій / А.Я.Проскурня. – Дніпродзержинськ, ДДТУ, 2014. – 120 с. – Режим доступу: <http://www.dstu.dp.ua/Portal/Data/6/29/6-29-kl52.pdf>. – Дата звернення: 03 червня 2019.

23. Крячко Г.Ю. Споруди та обладнання доменних цехів [Електронний ресурс]: конспект лекцій / Г.Ю.Крячко, Л.О. Сафіна-Валуєва. –

Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2016. – 87 с. – Режим доступу : <http://www.dstu.dp.ua/Portal/Data/5/23/5-23-kl23.pdf>. – Дата звернення: 03 червня 2019.

24. Фещенко О. Л. Оцінка впливу діяльності металургійних підприємств на навколишнє природне середовище України / О.Л. Фещенко, Н.В.Каменева // Інвестиції: практика та досвід. – 2016. – №2. – С.28 – 32.

25. Лашкун Г.А. Еколого-економічна оцінка та соціальні наслідки діяльності гірничих підприємств / Г.А.Лашкун, Н.В.Пасічник // Економіка і суспільство, 2018. – Вип. № 17. – С.454 – 460.

26. Ініціатива прозорості видобувних галузей [Електронний ресурс] : Національний звіт України за 2016 рік. – Режим доступу: <http://agru.org.ua/upload/files/10152828283323.pdf>. – Дата звернення: 03 червня 2019.

27. Власюк Т.О. Металургійна галузь України на світовому ринку: проблеми та пріоритети / Т.О.Власюк // Науковий вісник національної академії статистики, обліку та аудиту, 2016. – № 3. – С.91 – 103.

28. Козлов Г.О. Конструкція електрометалургійних агрегатів [Електронний ресурс] : підручник / Г.О.Козлов, В.Л.Тополов. – Режим доступу : <http://kema.at.ua/book1.html> . – Дата звернення: 03 червня 2019.

29. Семакова В.Б. Теорія та технологія використання вторинних ресурсів у аглодоменному виробництві [Електронний ресурс] : навч. посіб./ В.Б.Семакова, В.П.Руських. – Маріуполь : ПДТУ, 2005. –105 с. – Режим доступу : <http://umm.pstu.edu/handle/123456789/2447>. – Дата звернення: 03 червня 2019.

30. Ялдин І.В. Теоретичні аспекти формування стратегії розвитку металургійної галузі України [Електронний ресурс] : дис... д.е.н.: спец. 08.00.03 / І.В.Ялдин. – Харків, 2016. – Режим доступу : [https://ndc-ipr.org/media/spec\\_council/abstracts/Dis\\_%D0%AF%D0%BB%D0%B4%D0%B8%D0%BD\\_.pdf](https://ndc-ipr.org/media/spec_council/abstracts/Dis_%D0%AF%D0%BB%D0%B4%D0%B8%D0%BD_.pdf) . – Дата звернення: 1 вересня 2019.

31. Гаймур К.С. Прогнозування розвитку коксохімічної галузі України [Електронний ресурс]: дис...канд.техн.наук: спец. 08.00.03 / К.С.Гаймур. – Київ. – Режим доступу: [http://ndc-ipr.org/media/ndc\\_old/documents/Diser\\_](http://ndc-ipr.org/media/ndc_old/documents/Diser_)

Gaumur\_1.pdf. – Дата звернення: 04 вересня 2019.

32. Blast-Furnace Practice [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.metaljournal.com.ua/coke-coke-production/>. – Дата звернення: 01 жовтня 2019.

33. Інновації в металургії: як «цифра» запобігає «втомі металу» [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://mind.ua/publications/20203042-innovaciyi-v-metalurgiyi-yak-cifra-zapobigae-vtomi-metalu>. – Дата звернення: 01 жовтня 2019.

## ЧАСТИНА 2. ПАЛИВНО-ЕНЕРГЕТИЧНИЙ КОМПЛЕКС

### 7. Загальна характеристика паливно-енергетичного комплексу України.

Паливно-енергетичний комплекс (ПЕК) є базою господарства країни, а також основою її економічного і технічного розвитку. Задача функціонування комплексу – забезпечення усіх сфер діяльності людини паливом, електричною і тепловою енергією.

Паливно-енергетичний комплекс складається з групи галузей і підгалузей промислового виробництва, що спеціалізуються на видобутку, збагаченні, переробленні, транспортуванні, споживанні твердого мінерального, рідкого і газового палива, а також виробництві, передачі і використанні електроенергії і теплоти.

До складу енергетики України входять такі галузі господарства:

- 1) вугільна промисловість;
- 2) нафтогазова промисловість;
- 3) електроенергетика, що включає:

–виробництво електроенергії (теплоелектростанції, гідроелектростанції, атомна енергетика, відновлювальна енергетика – гідроенергетика, вітроенергетика, сонячна енергетика), передача та розподіл електроенергії;

–теплоенергетика (виробництво, транспортування, постачання теплової енергії).

Звичайно ПЕК має ієрархічну структуру, яка складається з державного регіонального, районного рівня. Енергетична система включає теплоелектростанції і теплоелектроцентралі, мережу атомних та гідроелектростанцій.

Об'єднана енергетична система (ОЕС) України, в яку входить сім електроенергетичних систем, за встановленою потужністю електростанцій є однією з найбільших енергосистем Європи. ОЕС України працює у

паралельному режимі з енергетичними об'єднаннями Республіки Білорусь, Республіки Молдови, Російської Федерації (ОЕС Центра, ОЕС Півдня). Південно-західна частина енергосистеми Західного регіону – «Острів Бурштинської ТЕС», працює у складі об'єднання енергетичних систем країн Європи – ENTSO-E.

Особливістю ПЕК України є висока питома вага атомної енергії, значне використання кам'яного вугілля та низьке застосування гідроенергії і альтернативних джерел. Структура та обсяги виробництва електроенергії різними видами електростанцій, що входять до Об'єднаної енергетичної системи, за станом на червень 2019 р. приведені на рис. 7.1.

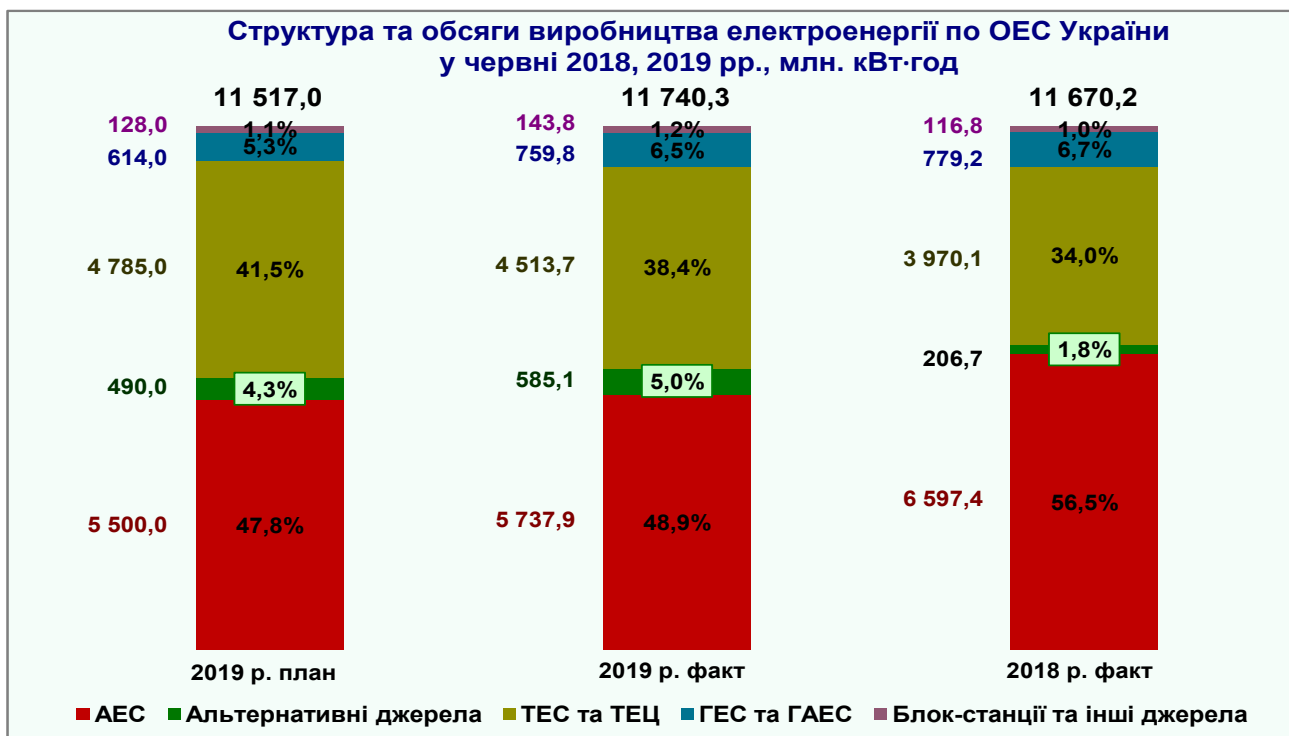


Рис.7.1 – Структура та обсяги виробництва електроенергії електростанціями, що входять до Об'єднаної енергетичної системи.

[[https://ua.energy/wp-content/uploads/2018/06/2.-rozvyt\\_svit\\_energet\\_sfery.pdf](https://ua.energy/wp-content/uploads/2018/06/2.-rozvyt_svit_energet_sfery.pdf)]

Інформація щодо структури експорту електроенергії у сусідні країни приведена на рис. 7.2.

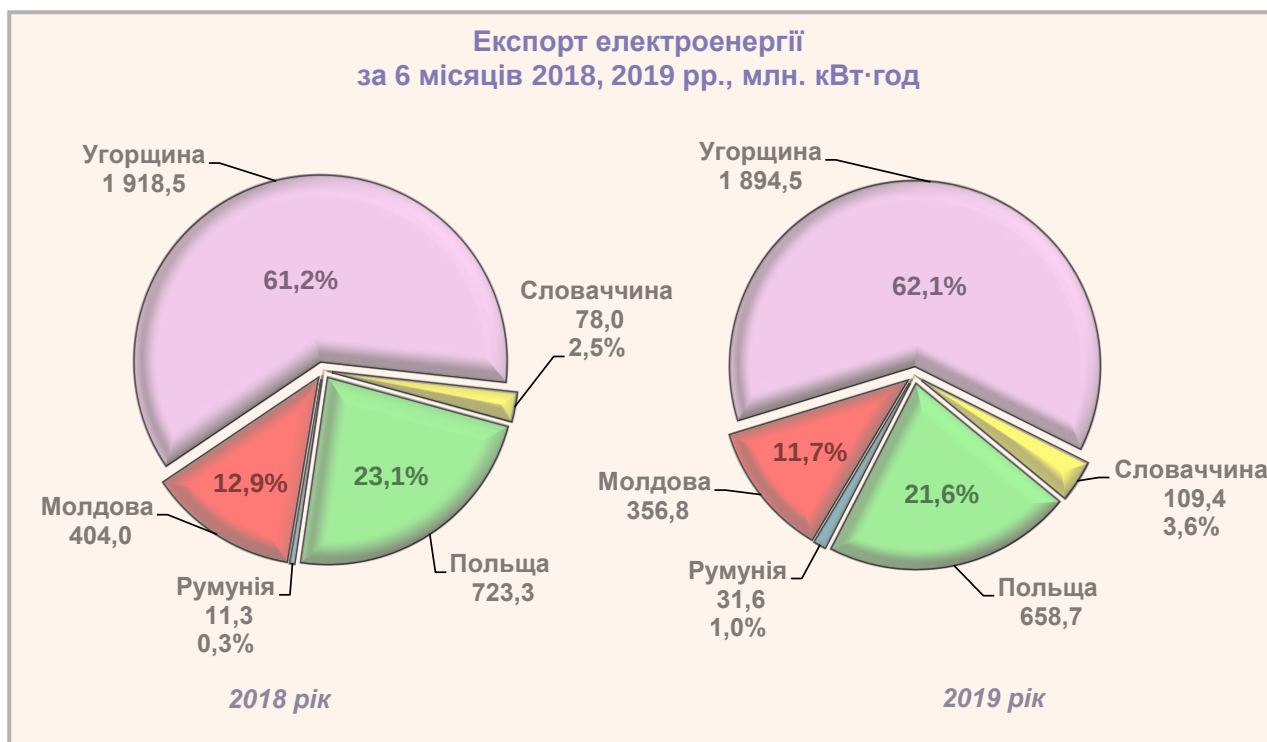


Рис. 7.2 – Експорт електроенергії, що здійснюється Україною

[[http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/publish/newscategory?cat\\_id=35081](http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/publish/newscategory?cat_id=35081)]

Сучасний стан ПЕК України характеризується орієнтацією на використання нафти, газу, вугілля і ядерного палива, але при цьому власними паливно-енергетичними ресурсами комплекс забезпечується частково. У теперішній час країна має енергетичну залежність від імпортних поставок органічного палива, в першу чергу, природного газу.

Україна не належить до країн зі значними доведеними запасами нафти (за оцінкою 80-110 млн т або близько 0,04% світових). Водночас її прогнозні ресурси знаходяться на рівні близько 1 млрд т, що створює певну основу для нарощування видобутку у близькій перспективі.

Україна з показником доведених запасів природного газу у 0,6 трлн м<sup>3</sup> займає сьому місце серед країн регіону Європи та Євразії. Прогнозні ресурси в Україні становлять до 3,5 трлн м<sup>3</sup>.

За обсягами видобутку природного газу країна посідає четверте місце в Європі та має потенційну можливість до 2030 р. повністю відмовитися від імпорту газу і забезпечувати свої потреби за рахунок внутрішніх ресурсів.

З урахуванням окупованих територій, Україна володіє значними власними запасами вугілля (3,8% загальносвітових) і посідає третє місце в регіоні Європи та Євразії. У разі визволення окупованих територій на Сході країни, Україна здатна самостійно забезпечувати власні потреби у вугіллі. Вітчизняна вугільна промисловість може бути певним гарантом енергетичної безпеки країни, але економічні та екологічні чинники будуть поступово зменшувати роль вугілля у ПЕК країни.

За міжнародними стандартами, економіка України є однією з найбільш енерговитратних економік світу через велику частку енергомістких секторів, застарілих та неефективних технологій, вкрай зношених основних засобів, неефективних систем трансформації і постачання енергії та енергетично низькоефективного фонду будівель. Скорочення споживання природних енергетичних ресурсів потребує перебудови економіки, розвитку високотехнологічного виробництва та сфери послуг. В Україні реалізуються плани щодо розвитку відновлюваної енергетики. За станом на 2017 р. кількість домогосподарств, що встановили сонячні панелі, склала 3010. При цьому загальна встановлена потужність сонячних панелей приватних домогосподарств постійно зростає.

Україна має великий потенціал біомаси, доступної для енергетичного використання. Використання біомаси, як джерела енергії, в Україні може дозволити замінити від 15 до 23 млн т умовного палива, одержуваного з традиційних джерел.

Отримання енергії з біомаси (деревних і сільськогосподарських відходів, соломи, гною, органічної частини твердих побутових відходів) є однією з галузей, що найбільш динамічно розвиваються у світі. Власне вагомою перевагою біомаси як енергетичного ресурсу є те, що її ресурси поновлюються щороку і практично постійно. Біомаса сільського і лісового господарства – доступне місцеве паливо, що може використовуватися в системах опалення житлових, виробничих, адміністративних будинків, в об'єктах соціальної інфраструктури (школах, дитячих садочках), що розташовані в сільській

місцевості. Використання біомаси в енергетичних цілях дозволить забезпечити ці об'єкти власними енергоносіями і зменшити витрати на придбання традиційного палива.

В Україні зменшення емісії CO<sub>2</sub> є стійкою тенденцією. У 2015 р. в країні відмічались найбільші темпи скорочення викидів парникових газів серед країн світу (до 195,1 млн т або понад 18%). Але цей процес більше пов'язується з економічним спадом, а не з протидією зміні клімату. У подальшому для скорочення викидів необхідно застосування нових енергозберігаючих технологій та для розвитку ПЕК та залучення інвестицій.

## **8. Вугледобування та вуглезбагачення**

У якості палива для виробництва електричної та теплової енергії широко використовуються горючі копалини: вугілля, природний газ, значно рідше – мазут, торф та горючі сланці. Основним первинним енергетичним ресурсом є вичопне вугілля, яке є базою електроенергетики багатьох країн. Вугілля відноситься до довгострокового енергетичного носія, запаси якого значно перевищують запаси інших горючих копалин. Частка вугілля складає 80%, а нафти і газу – 17%.

Майже на усіх етапах від видобутку до споживання горючих копалин здійснюється негативний вплив на довкілля, тому поряд з розглядом технологій, пов'язаних з використанням природної енергетичної сировини, аналізуються відповідні шляхи підвищення екологічної безпеки. Разом з тим, природоохоронні заходи з позицій інженерної екології у найбільшій мірі реалізуються у технологіях переробки та підготовки до використання горючої сировини.

### **8.1. Основні характеристики вугілля**

*Вичопне вугілля* (буре, кам'яне й антрацити) – це тверда осадова порода, горюча копалина, яка утворена шляхом вуглефікації рослинних залишків.

Вугілля відрізняється великою різноманітністю властивостей, що залежать від складу вихідних рослинних залишків, умов їх накопичення, процесів розкладання і перетворення, геологічних факторів та ін. Найбільш зрілим є антрацитове вугілля, а найменш – буре вугілля. Кам'яне вугілля посідає проміжне місце.

Один грам вугілля складається з мікрочасток, загальна поверхня яких порівняна з поверхнею декількох футбольних полів. 1 т вугілля може містити до 1300 м<sup>3</sup> метана.

*Буре вугілля* має колір від світло-бурого до чорного. Вміст вуглецю складає 68-80%, вологи – 25–30%, густина складає 800–1250 кг/м<sup>3</sup>, вихід летких речовин – більше 45%, теплота згоряння – до 24 МДж/кг.

*Кам'яне вугілля* є чорним за кольором. Вміст вуглецю – 80–92 %, вологи – 3–4 %, густина складає 50–1500 кг/м<sup>3</sup>, вихід летких речовин – 11– 45 %, теплота згоряння – 31–37 МДж/кг.

*Антрацит* має чорну зі скляним блиском поверхню, гострі краї при зломі. Вміст вуглецю складає 93,5–97%, вологи – 3–4%, густина – 1500–1700 кг/м<sup>3</sup>, вихід летких речовин – до 6%, теплота згоряння – 33–35 МДж/кг.

На вибір і ефективність процесів збагачення суттєво впливають фізичні властивості вугілля і мінеральних домішок. Механічна міцність обумовлює гранулометричний склад і шламоутворення. Густина вугільної речовини залежить від стадії метаморфізму і насичення мінеральними включеннями, дисперсність яких є основним показником при виборі методів і схем збагачення. Електричні й діелектричні властивості визначають можливість застосування способів електрофізичного контролю і збагачення.

*Густина вугілля* – це відношення його маси до об'єму. Розрізняють густину дійсну, органічної маси, уявну та насипну. *Дійсна густина* – це кількісне вираження маси одиниці об'єму вугілля без пор і тріщин. *Уявна густина* – це маса одиниці об'єму природного вугілля. Уявна густина завжди менше дійсної і для кам'яного вугілля дорівнює 1200–1350 кг/м<sup>3</sup>. *Насипна густина* вугілля являє собою відношення його маси до об'єму, заповненого

вільною або ущільненою засипкою (густина маси вугілля в штабелі, вагоні, бункері та в інших ємностях).

Для кам'яного вугілля встановлений тісний зв'язок між густиною і зольністю. Показник густини характеризує ступінь концентрації органічної маси або мінеральних домішок. Вміст мінеральних домішок у вугільних продуктах характеризують зольністю.

*Зольність* – це вміст негорючого залишку (в основному оксидів кремнію, алюмінію, заліза, кальцію) при повному згорянні палива.

Мінеральні компоненти викопного вугілля представлені переважно силікатами (кремнезем, глинозем), сульфідами (пірит, марказит), карбонатами (кальцит, сидерит), сульфатами (гіпс), значно менше – оксидами металів, хлоридами, фосфатами, а також у незначних кількостях сполуками рідкісних та розсіяних елементів.

Хімічні властивості вугілля визначаються його елементним складом. Елементний склад (вміст вуглецю, водню, кисню, азоту та сірки) є загальноприйнятою характеристикою органічної маси вугілля. За даними елементного складу можна досить точно визначити теплоту згорання, теоретичну температуру горіння, склад продуктів горіння, вихід продуктів термічного розкладу і ступінь вуглефікації.

Вугілля, нагріте до високих температур без доступу повітря, розкладається з утворенням рідких і газоподібних продуктів (в основному вуглеводнів), які називають *леткими речовинами*. Твердий продукт, що виникає в результаті термічного розкладу вугілля, називають *коксовим залишком* або *корольком*.

Вихід летких речовин є однією з класифікаційних ознак марки вугілля і характеристикою його технологічної придатності. Для коксівного вугілля він визначає вихід коксу і хімічних продуктів коксування, а для енергетичного є характеристикою реакційної здатності й займистості палива. Для торфу вихід летких речовин складає близько 70%, для бурого вугілля – до 50%, для кам'яного вугілля – 50–8%, для антрацитів – 9–2%.

До загальних властивостей вугілля як виду палива належать теплота згоряння і вологість. Теплота згоряння – кількість теплоти, яка виділяється при повному згорянні 1 кг палива. Енергетична цінність палива в першу чергу визначається його теплотою згоряння.

Розрізняють вищу і нижчу теплоту згоряння. Нижча теплота згоряння відрізняється від вищої кількістю теплоти, що витрачається на випаровування вологи, яка міститься в паливі та утворюється при згорянні водню. При зіставленні різних видів органічного палива користуються поняттям умовного палива, що характеризується нижчою теплотою згоряння, рівною 29 МДж/кг.

Вологість або вміст вологи палива знижує його теплоту згоряння внаслідок збільшеної витрати теплоти на випаровування вологи і збільшення обсягу продуктів згоряння (через наявність водяної пари). Волога негативно впливає також на технологію переробки вугілля. Значні труднощі виникають при сухому грохоченні вологого вугілля.

*Сірка* у вугіллі міститься у вигляді різних мінеральних сполук (піриту, марказиту, сульфатів заліза і кальцію). Деяка частина сірки входить до складу органічних сполук вугілля. Вміст сульфатної сірки незначний і коливається у межах 0,1–0,2 %. В основному у вугіллі переважає колчеданна сірка, яка представлена піритом.

При спалюванні вугілля значна частина сірчистих сполук перетворюється в діоксид сірки, який забруднює довкілля. Сірка знижує цінність вугілля і якість продуктів його переробки. Водночас деякі сірчисті сполуки утилізують в інших галузях промисловості (наприклад, у сірчанокислотному виробництві).

У результаті збагачення вугілля його зольність, сірчистість і вологість можуть бути значно знижені й доведені до кондицій, що задовольняють вимогам відповідних споживачів.

Промислова класифікація передбачає розподіл вугілля на марки і групи залежно від їхніх фізико-хімічних властивостей і можливості використання для технологічних та енергетичних цілей.

Поділ вугілля на марки передбачає такі різновиди вугілля: буре (Б), довгополуменеве (Д), довгополуменеве газове (ДГ), газове (Г), жирне (Ж), коксівне (К), піснувате спікливе (ПС), пісне (П), антрацит (А).

Енергетичне вугілля та антрацити, крім інших показників, характеризуються і крупністю. За допустимою крупністю розрізняють вугілля:

- плитне ( П ) – 80-200 мм;
- крупне (К) – 40-80 мм;
- горіх (Г) – 20-40 мм;
- дрібне (Д) – 10-20 мм;
- сім'ячко (С) – 5-10 мм;
- штиб (Ш) – 0-5 мм;
- рядове (Р) – 0-200 мм.

## **8.2. Збагачення вугілля**

Видобуте кам'яне вугілля в Україні за своїм цільовим призначенням, в першу чергу, призначається для потреб коксування та енергетики. Його якість повинна відповідати вимогам щодо зольності, вмісту сірки, вологості. Тому без застосування попереднього збагачення унеможлиблюється використання вугілля для даних потреб. Одночасно рядове вугілля відвантажується споживачам без проведення збагачення.

Продукт, що надходить в операцію, називається *вихідним* або живленням операції. У процесі переробки гірничої маси одержують наступні продукти: *концентрат* – продукт із найбільшим вмістом горючої маси і найменшим – породних компонентів; *промпродукт* – проміжний продукт, що за вмістом горючої маси не є кондиційним концентратом чи відвальними відходами і потребує подальшої переробки; *промпродукт* – це суміш зростків вугільних і породних компонентів та суміші їхніх розкритих зерен (мікст); *відходи* – продукт із найбільшим вмістом породних мінералів і найменшим – органічної маси.

Процеси збагачення полягають у розділенні гірничої маси на основі відмінностей у властивостях її складових (густини, змочуваності, крупності, твердості та ін.). За технологічним призначенням процеси поділяються на наступні.

1. Підготовчі процеси, що включають операції дроблення і грохочення.

Операція дроблення є процесом руйнування грудок вугілля під дією зовнішніх сил з ціллю одержання продукту заданої крупності. Така операція застосовується для підготовки вугілля перед збагаченням. Грохочення – це механічне розділення вугілля на поверхнях просіювання за крупністю. Використовують: *попереднє* грохочення для відділення крупних грудок для наступного дроблення, *підготовче* – для розділення вугілля на машинні класи, *остаточне* – для розділення концентрату на товарні сорти та *зневоднює* з ціллю відділення основної маси води з продуктів збагачення, відділення суспензії, знешламлення.

2. Основні або збагачувальні процеси, які призначені для розділення вихідного продукту на концентрат, відходи та промпродукт.

Використовують гравітаційні процеси та флотацію. *Гравітаційні процеси* поділяються на: збагачення у важких суспензіях, відсадку, концентрацію на столах, гвинтову і протитечійну сепарацію. Дані процеси використовують для збагачення вугілля в діапазоні крупності: від 0,2 мм (гвинтові сепаратори і шлюзи, концентраційні столи, конусні сепаратори, важкосередовищні гідроциклони) до 200–300 мм (важкосередовищні сепаратори).

*Флотація* базується на використанні різниці показників гідрофобності (вугілля) та гідрофільності часток породи. Флотація використовується для збагачення тонких і дрібнодисперсних класів вугілля крупністю до 0,5 мм.

3. Допоміжні та заключні процеси, що представляються згущенням, зневодненням, знешламленням, знепиленням, регенерацією зворотних вод.

*Зневоднення* продуктів мокрого збагачення вугілля здійснюють різними способами залежно від крупності матеріалу. Продукти крупністю більше 13 мм зневоднюються на грохотах, елеваторах з перфорованими ковшами, а також у

дренажних бункерах. Для зневоднення дрібних класів (за виключенням перелічених) способів, застосовують центрифугування, а в зимовий період і термічну сушку. Найбільші труднощі спричиняє зневоднення продуктів флотації і шламів, для чого застосовують згущення, фільтрування і термічну сушку. При згущенні й фільтруванні відбувається також процес регенерації оборотних вод.

*Знепилення* – це процес відділення з вугілля частинок пилу розміром менше 0,5 мм. Знепилення здійснюється двома способами: мокрим – на грохотах і в гідроциклонах (знешламлення), а також сухим – на грохотах і в повітряних класифікаторах різних конструкцій.

В Україні застосовується п'ять основних типів технологічних схем збагачення.

*Перший тип* застосовується для збагачення енергетичного і коксівного вугілля. Схема передбачає збагачення крупного класу вугілля (понад 13 мм) з використанням важкосередовищних сепараторів, відсаджувальних машин, у яких здійснюється гравітаційне збагачення вугілля для класу 0,5–13 мм, та флотаційних машин.

*Другий тип* передбачає збагачення енергетичного вугілля та антрацитів з використанням відсаджувальних машин. Збагачення у відсаджувальних машинах включає наступне. Вода піднімається через сито, на яке повільно поступає вугілля. Товарне вугілля виноситься потоком, розташований нижче матеріал після вигризки йде у відвал. Самі важкі домішки провалюються через отвори сита у збірну ємність та механічно вивантажуються з неї.

*Третій тип* використовується для збагачення енергетичного вугілля та антрациту класу 25–100 мм у важкосередовищних сепараторах з подальшою відсадкою класу 6–25 мм.

*Четвертий тип* здебільше використовується для коксівного вугілля (крупного та дрібного) у відсаджувальних машинах з подальшою флотацією шламу у флотаційних машинах.

П'ятий тип застосовується для збагачення антрациту крупністю понад 13 (25) мм у важкосередовищних сепараторах та виділенням незбагаченого відсіву.

В Україні налічується 61 вуглезбагачувальна фабрика з сумарною річною виробничою потужністю 147,8 млн т. Але через нестачу вихідного вугілля фабрики працюють з неповним завантаженням, рівень завантаження фабрик є досить нерівномірним.

### **8.3. Переробка вугілля з одержанням продуктів енергетичного призначення**

Приблизно 25% вугілля, яке постачається споживачам, використовують для технологічних цілей на підприємствах, де воно переробляється чи застосовується як сировина. При цьому основна частина вугілля йде на виробництво коксу. Решта вугілля витрачається на енергетичні цілі. Більше половини вугілля, що направляється на енергетичні цілі, використовується на теплових електростанціях, значна частина – для комунальнопобутових потреб, менша – в промислових і районних котельнях. Інша частина енергетичного вугілля йде на потреби сільського господарства, виробництва будівельних матеріалів тощо.

#### ***Напівкоксування та коксування вугілля***

Напівкоксування і коксування відноситься до важливіших методів переробки вугілля. Напівкоксування здійснюється з метою отримання рідких смолистих речовин, при переробці яких утворюються легкі рідкі палива, що замінюють дефіцитні нафтопродукти.

*Напівкоксування* – процес термічної переробки вугілля шляхом нагрівання його в спеціальних печах без доступу повітря до температури 500 – 550°C. Основні продукти напівкоксування: напівкокс (55 – 70 %), первинна смола (10 – 40 %), напівкоксовий газ (5 %).

Для напівкоксування застосовуються палива з великим виходом летючих речовин: буре вугілля, довгополум'яне і газове кам'яне вугілля. Крім викопного вугілля, для напівкоксування використовується торф, горючі сланці.

Твердий залишок (напівкокс), одержуваний при напівкоксуванні є механічно неміцним і характеризується підвищеною реакційною здатністю. Він легко загорається і стійко горить. Застосовується в якості енергетичного, технологічного, газогенераторного і побутового палива.

Напівкоксовий газ являє собою цінне паливо, Типовий склад напівкоксового газу: 20–50%  $\text{CH}_4$ ; 15–20%  $\text{H}_2$ ; 7–10%  $\text{CO}$ ; 7–15% ненасичених вуглеводнів (головним чином, етилену  $\text{C}_2\text{H}_4$ ), теплота згоряння напівкоксового газу складає 8 – 34 МДж /м<sup>3</sup>.

*Коксування вугілля* – метод термічної переробки переважно кам'яного вугілля, що полягає в його нагріванні без доступу повітря до 1000–1100 °С і витримки, при цій температурі, внаслідок чого паливо розкладається з утворенням летких продуктів і твердого залишку коксу. Побічними продуктами коксування є коксовий газ, кам'яновугільна смола, аміачна вода та інші продукти.

Метою коксування є отримання штучного твердого палива – коксу, який використовується у металургійному виробництві.

Технологія виробництва коксу розглянута у розділі 1 даної книги.

### ***Генераторний газ.***

У теперішній час альтернативою природному газу може бути генераторний газ, який одержують у процесі газифікації при неповному окисненні (нестача повітря, близько 60%) органічної маси вугілля. Також такий газ можливо одержати з торфу, сланців, біомаси. У порівнянні з твердим паливом газоподібне має ряд переваг, так як воно характеризується достатньою енергоємністю, більшою екологічністю, економічністю.

Склад генераторного газу коливається у межах:  $\text{CO}$  = 25–30%,  $\text{H}_2$  = 12–15%,

$\text{CH}_4=0,5\text{--}3,5\%$ ,  $\text{CO}_2=5\text{--}8\%$ ,  $\text{O}_2=0,2\text{--}0,5\%$ ,  $\text{N}_2=45\text{--}50\%$ . Нижча теплота згоряння генераторного газу  $5\text{--}6,5 \text{ МДж/м}^3$ .

Україна входить у десятку країн, що мають великі запаси вугілля і, відповідно, має великий потенціал для одержання генераторного газу. Сучасні технології газифікації дозволяють одержувати з 2 млн т вугілля 1 млрд  $\text{м}^3$  еквівалентного природного газу.

Генераторний газ звичайно одержують у газогенераторах, але водночас його можливо отримати підземною газифікацією вугілля, яка передбачає фізико-хімічні перетворення вугілля в горючі гази в надрах за місцем залягання.

Підземна газифікація кам'яного вугілля характеризується низькими енерговитратами, збереженням ґрунтового покриву та іншими характеристиками екологічності.

Існують шахтний та безшахтний метод отримання газових сумішей. Останній метод більш екологічний і додатково дозволяє використовувати вугільні родовища для одержання теплоти та електроенергії.

Етапи підземної газифікації включають:

- буріння похило-горизонтальних свердловин для підводу дуття і відводу отриманого пального газу в мережу;
- створення у вугільному пласті між цими свердловинами реакційних каналів шляхом пропалювання вугільного пласта;
- газифікація вугільного пласта нагнітанням дуття у вхідні канали і відвід отриманого газу з відвідних каналів;
- кінцева очистка газу.

При газифікації у якості окиснювачів (агентів газифікації) використовують кисень (або повітря, збагачене киснем), водяну пару, діоксид вуглецю або суміш перелічених речовин. В залежності від співвідношення вихідних реагентів, температури, тривалості реакції та інших факторів можна отримувати газові суміші різного складу.

Перевагами газифікації в порівнянні з прямим спалюванням твердого палива є утворення набагато менших об'ємів газів, що потребують очистки, недопал матеріалу майже відсутній, так як рівень конверсії вуглецю досягає майже 100%. Крім того, в результаті більш повного спалювання газоподібного палива утворюється значно менша кількість шкідливих хімічних сполук (як в димових газах так і в золі), які потрібно очищати ( $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$ , CO та пил).

Газ з низькою теплотою згорання ( $3,8\text{--}7,6 \text{ МДж/м}^3$ ) може бути використаний в якості палива для газових турбін при комбінованому циклі для вироблення теплової та електричної енергії, а також в котлах для виробництва пари та як паливо в плавильних печах. Газ середньої теплотворної здатності ( $10,5\text{--}16 \text{ МДж/м}^3$ ) застосовується як паливо в газових турбінах за комбінованою схемою; в якості заміниці природного газу, а також для виробництва водню і синтезу хімікатів. Газ високої теплотворної здатності (вище  $21 \text{ МДж/м}^3$ ) використовується в першу чергу як заміник природного газу.

Технології газифікації класифікуються за: конструкційними особливостями реакційної зони, характером руху газифікуючого палива, типом дуття, теплотою згорання отриманого палива, способом підведення тепла, призначенням газу, способом видалення мінеральних домішок та тиску газифікації. За конструктивними особливостями реакційної зони та способу підведення окисника газифікатори поділяються на наступні типи: з нерухомим щільним шаром та висхідним (низхідним, поперечним) рухом газу, киплячого шару (стаціонарний киплячий шар, циркулюючий киплячий шар, два реактори киплячого шару) та газифікацію в потоці.

Найбільш перспективними вважаються методи газифікації в пиловому потоці і киплячому шарі.

Умовно весь процес газифікації розбивають на етапи:

- 1 – нагрівання і сушіння палива;
- 2 – піролітичне розкладання палива на газоподібні продукти і твердий залишок;
- 3 – газифікація вугільного залишку.

На рис.8.3 приведена схема простого газогенератора. Паливо надходить у завантажувальний пристрій зверху, а знизу через колосникову решітку.

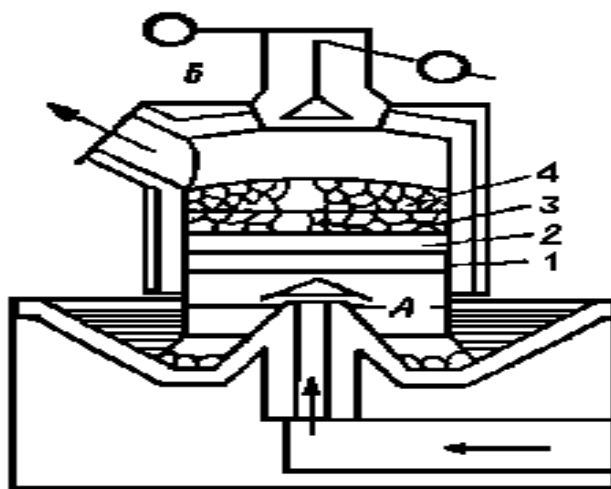


Рис. 8.3 – Схема газогенератора

- 1 – киснева зона; 2 – зона відновлення; 3 – зона сухої перегонки палива;  
4 – зона сушки палива; А – підвід дуття; Б – відвід газів

подається повітря та водяна пара. Неповне згоряння палива протікає над зоною шлаку та золи у нижній частині апарату. У зоні 1 витрачається весь кисень. Шар шлаку та золи, які знаходяться біля колосникової решітки, виконують функцію засипки, яка вирівнює розподіл повітря та водяної пари. Також такий шар захищає колосники від перегріву.

Продукти горіння вуглецю ( $\text{CO}_2$  та  $\text{CO}$ ) поступають у зону відновлення 2. У цій зоні  $\text{CO}_2$  та водяна пара реагує з вуглецем розпеченого палива. У результаті реакцій  $\text{CO}_2$  та  $\text{H}_2\text{O}$  з вуглецем палива утворюються  $\text{CO}$  і  $\text{H}_2$ , які змішуються з негорючим азотом повітря та частиною  $\text{CO}_2$ , яка не розклалась.

Суміш утворених газів піднімається уверх через вище розташовані шари палива та нагріває їх своїм теплом. Нагріте (до  $500-600^\circ\text{C}$ ) без доступу кисню паливо змінює свою внутрішню структуру. Такий процес називається сухою перегонкою або напівкоксуванням (зона 3). При цьому протікає виділення летучих газів, які приєднуються до потоку газів, що йдуть із зони відновлення 2. За рахунок тепла газів, що виходять з установки, паливо підсушується (зона 4).

При сухій перегонці із палива виділяються газоподібні продукти: CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>, ненасичені та інші вуглеводні, а також пари рідких продуктів (смоли) та пірогенетична (внутрішня) волога.

У цьому процесі паливо перетворюється у твердий продукт (напівкокс або кокс) і цей продукт поступає із зони сухої перегонки в зону відновлення та далі в кисневу зону.

Утворений генераторний газ, до якого домішуються летучі, що містять газоподібні вуглеводні, смоляні та водні пари, відводяться через патрубок. Нелетучі тверді залишки у виді шлаку видаляються з колосникової решітки у ванну з водяним затвором.

Залежно від складу дуття генераторні гази поділяють на чотири групи: *повітряний; водяний; змішаний; парокисневий.*

### ***Повітряний газ.***

При газифікації палива сухим повітрям отримують повітряний газ. При цьому в газогенераторі йдуть такі реакції:



Реакції (1) та (2) протікають в основному у зоні горіння, а (3) та (4) – в зоні газифікації та є зворотними.

Сумарна реакція, яка протікає у зоні газифікації, з певною мірою наближення описується реакцією:



Склад повітряного газу: 34,7% CO, 65,3% N<sub>2</sub>, теплота згоряння складає 4,44 МДж/м<sup>3</sup>.

### ***Водяний газ.***

Водяний газ утворюється при продувці через розжарений шар вуглецю

водяної пари. При цьому протікає реакція:



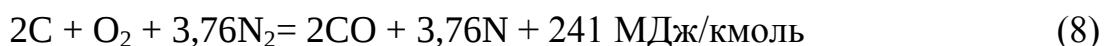
Для протікання реакцій (6) та (7) у газогенератор поперемінно подають гаряче повітряне та парове дуття. Одержаний при такому дутті газ викидається в атмосферу. При температурі нижче 900°C реакція взаємодії пари з вуглецем перебігає повільно. Водяна пара реагує також з СО, який міститься в суміші газів.

Склад водяного газу наступний, %:  $\text{H}_2$  до 50;  $\text{CH}_4$  до 6; СО до 40;  $\text{CO}_2$  – 6;  $\text{N}_2$  – 2. Теплота згоряння складає 10-11 МДж/м<sup>3</sup>.

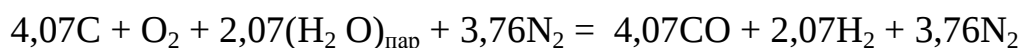
Водяний газ як окреме промислове паливо самостійного значення немає.

### ***Змішаний газ.***

Змішаний (пароповітряний, напівводяний) газ утворюється при застосування у якості дуття суміші водяної пари з повітрям. При цьому протікають наступні реакції:



Сумарна реакція процесу:



Склад змішаного газу такий, %: СО – 41,0;  $\text{H}_2$  – 20,9;  $\text{N}_2$  – 38,1. Теплота згоряння – 7,5 МДж/м<sup>3</sup>.

### ***Парокисневий (оксидований) газ.***

Для підвищення ефективності роботи газогенератора у якості дуття можливо застосування парокисневої суміші. При цьому підвищується ККД установки та теплота згоряння одержаного газу ( до 10 МДж/м<sup>3</sup>).

Сумарне рівняння процесу:



Крім реакцій утворення CO та  $H_2$ , у газогенераторі інтенсивно проходить утворення метану. За рахунок цього теплота згоряння газу підвищується до 16,5 МДж/м<sup>3</sup>. Склад парокисневого газу, %:  $H_2$  – до 40; вуглеводнів – до 5; CO – 30-40;  $CO_2$  – до 5;  $N_2$  – 4–20.

У теперішній час пропонується значна кількість високоефективних технологій газифікації палива, які є більш екологічним рішенням ніж безпосереднє спалювання вугілля.

### ***Гідрогенізація вугілля.***

Деструктивна гідрогенезація кам'яного (бурого) вугілля, сланців – метод отримання з твердого палива рідкого, найчастіше бензину, що містить тільки вуглеводні. Це перспективний метод переробки вугілля у зріджуване, яке може бути замінником сирої нафти. Прогнозується, що у 2050 р. на частку зріджуваного вугілля припадатиме 50 % всього енергетичного вугілля, що видобуватиметься.

Деструктивна гідрогенізація – комплекс реакцій, що протікають у присутності водню, розщеплення молекул органічних речовин і приєднання водню по місцю зв'язків, що супроводжуються зміною їхньої вуглецевої основи. Деструктивна гідрогенізація вугілля є поєднанням процесів термічної деструкції вугілля із взаємодією продуктів розщеплення.

Для процесу гідрогенізації найпридатніші тверді горючі корисні копалини, в яких відношення C: H=8–16, вихід летких речовин на горючу масу не нижче за 35–36%.

В даний час відомо кілька освоєних промисловістю способів:

- процес Бергіус – некаталітична пряма гідрогенізація;
- процес Шредера – гідрогенізація вугілля в суміші з 1% мас. молібденового каталізатора. До складу реакційної суміші входять: суміш рідких вуглеводнів (так звана «нафта»), обмежені кількості вуглеводневих газів  $C_3$ – $C_4$ , легкого рідкого палива  $C_5$ – $C_{10}$ ,  $NH_3$ , значні кількості  $CO_2$ .

#### **8.4. Вплив діяльності вугільних підприємств на довкілля та заходи з охорони навколишнього середовища**

##### ***Суть негативного впливу на елементи довкілля підприємств вугільної галузі.***

Вугільну промисловість відносять до галузей, які негативно впливають на навколишнє середовище. Техногенний вплив виявляється у забрудненні атмосфери викидами твердих і газоподібних шкідливих речовин, скидом у водні об'єкти забруднених мінеральними і механічними домішками шахтних вод, а також порушенні земель гірничими роботами і відвалами. Визначальним є те, що вугільне виробництво становиться джерелом викидів метану шахтними вентиляційними установками.

У районах вуглевидобутку та вуглепереробки фіксуються підвищенні концентрації V, Hg, As, Pb, Co, Cu, Ba, Cd, F, Mn та ін., що може привести до отруєння рослинного і тваринного світу та людей.

У відвалах виявляється берилій, свинець, олово, титан, молібден, мідь, цинк, цирконій, стронцій. З цих елементів берилій, свинець, цинк належить до першого класу небезпеки; молібден, мідь – до другого. Забруднення цими елементами навколишнього середовища значно погіршує екологічну ситуацію, що може спричинювати стійкі розлади здоров'я.

Найважливішими антропогенними джерелами надходження ванадію в навколишнє середовище є викиди збагачувальних вугільних підприємств, спалювання вугілля, його транспортування, вітрова ерозія відвалів. Ванадій і пил ванадієвмісних шлаків належить до третього класу небезпеки, оксиди і ферованадій – до другого, оксид ( $V_2O_5$ ) у вигляді диму – до першого класу.

У шахтній породі териконів міститься галій, нікель, кобальт. Більшість сполук нікелю і кобальту належать до першого класу небезпеки. Одна з головних причин забруднення атмосфери кобальтом і нікелем – спалювання природних паливних матеріалів, що містять кобальт та нікель, а також винесення їхніх сполук з пилом.

Атмосферне повітря забруднюється CO, NO, H<sub>2</sub>S, оксидами Hg, V, Cr, Pb, що виділяються під час горіння териконів.

Джерелами забруднення повітряного басейну підприємств вугільної галузі пило-газоподібними викидами є збагачувальні фабрики і установки; склади вугілля, вантажні пункти золи, вугілля і породи; котельні; дробарки і сушильні установки; порідні відвали, що горять; вентилятори головного провітрювання; установки дегазації та інші виробничі об'єкти. При спалюванні вугілля та іншого органічного палива утворюється оксид вуглецю, сірчистий газ, оксиди азоту, вуглеводні, альдегіди та ін. У золі, що утворилася при спалюванні вугілля, може знаходитися цинк, свинець, германій, миш'як, уран і другі шкідливі елементи.

Велику загрозу чинять пилоповітряні суміші, які можуть бути вибуховими. Однією з причин вибуху пилу є надмірне пересушування концентрату в процесі термічної сушки.

Вибуховість вугільного пилу залежить від його крупності, зольності, вмісту летких речовин, концентрації у пилогазових сумішах, наявності в них кисню або іншого активного газу, вмісту легкої сірки, вологості суміші. Вибуховість пилу збільшується при збільшенні виходу летких речовин і зменшується при підвищенні вологості й зольності. Небезпечною до вибуху є концентрація пилу 112–500 г/м<sup>3</sup>, при концентрації більше 1500 г/м<sup>3</sup> і менше 30 г/м<sup>3</sup> вугільний пил не вибухає. Чим менша крупність пилу, тим при меншій концентрації пил вибухає. Найбільш вибухонебезпечний є пил крупністю 70–100 мкм; при крупності 120–150 мкм вугільний пил вибухобезпечний. Дуже тонкий пил завдяки великій питомій поверхні встигає значною мірою окислитись до виникнення вибуху, тому у випадку його виникнення, він є дуже слабким.

На гірничовидобувному підприємстві утворюються такі види стічних вод:

- шахтні, які поділяються на шахтні та води від осушення полів;

- виробничі, що включають води поверхневого комплексу шахти, а також збагачувальних фабрик і заводів;
- господарчо-побутові стоки.

Шахтні води являють собою мінералізовані підземні води, які забруднені додатково зваженими речовинами і бактеріальними домішками. Їх якісний склад змінюється по вугільних басейнах, родовищах і районах. Скидання вод викликає замулювання, засолення і закислення водоймищ і водотоків. Як наслідок цього порушується екологічна рівновага у вугільних басейнах.

Забруднення дощових і талих вод у районі збагачувальних фабрик і породних відвалів стає все більшими за масштабами. Це приводить до підвищення мінералізації поверхневих та підземних вод, збільшення концентрації сульфатів, появи іонів важких металів. У ґрунтах розвивається засолення хлорид- і сульфат-іонами, зменшується рН.

У період дощів і танення снігів породні відвали перетворюються в неконтрольовані джерела створення забруднених шкідливими речовинами стічних вод, які практично не піддаються очищенню. Вміст завислих речовин у дощових водах, що стікають з породного відвалу, досягає 11700 мг/л, а в талих водах – 47160 мг/л при загальному вмісті солей 7550 мг/л.

Збагачувальні фабрики повинні мати повністю замкнений водний цикл водно-шламового господарства з оборотним технічним водопостачанням. Оборотні води збагачувальних фабрик представлені гідросумішшю, яка складається з трьох фаз: рідкої, твердої і газоподібної. Рідка фаза – це, як правило, шахтна вода, газоподібна – розчинене у воді повітря, тверда – частинки мінерального (в основному породні) й органічного походження. Шкідлива дія оборотних вод вуглезбагачувальних фабрик, у першу чергу, обумовлюється їхнім високим ступенем мінералізації солями жорсткості, а також забруднення флокулянтами та коагулянтами. Останні можуть попадати у водойми та ґрунтові води.

Видобування вугілля відкритим чи підземним способом супроводжується порушенням земель, формуванням техногенного ландшафту. Переміщення

великих об'ємів гірничої маси погіршує режим ґрунтових і підземних вод, змінюється поверхневий водостік і структура ґрунту, інтенсифікується ерозійна робота води і вітру, що в деяких випадках спричиняє зміну клімату в районі ведення гірничих робіт. Крім того, негативний вплив на довкілля при підземному видобутку вугілля проявляється у провалах земної поверхні, у зведенні порідних відвалів різних розмірів і форм, будівництві транспортних магістралей для відправки вугілля та перевезення порожньої породи. Негативним чином на літосферу діють шламові відстійники, сховища шламів. Вугільні підприємства забруднюють ґрунт на площах териконів, а також у місцях відходів збагачувальних фабрик.

### ***Заходи з охорони довкілля***

Головними напрямками природоохоронних заходів у вугільній галузі є комплексне використання корисних копалин, застосування зворотніх систем водоспоживання та утилізація відходів збагачення.

На вуглезбагачувальних фабриках застосовується комплекс заходів, які включають використання передових технологічних процесів та обладнання, удосконалення операцій складування відходів та комплексне використання відходів. Як результат таких дій передбачається скорочення шкідливого впливу на довкілля відвалів, забруднених викидів та скидів.

Підприємства вуглезбагачення споживають на технологічні потреби значні обсяги води – від 3 до 4 м<sup>3</sup>/т сировини. Тому використання оборотного водопостачання збагачувальних фабрик є необхідною умовою екологічного господарювання.

Стічні воді вуглезбагачувальних фабрик забруднені в основному грубодисперсними домішками, що складаються з породних частинок різної крупності, а також флотаційних агентів (спінювачі, флокулянти, коагулянти), нафтопродуктів, сульфатів, хлоридів, карбонатів.

Для видалення грубодисперсних частинок використовують решітки та

сита (перша стадія), відстоювання, центрифугування, коагуляцію та флокуляцію ( друга стадія).

Для уловлювання нафтопродуктів застосовуються схеми з використанням нафтовловлювачів, коагуляції та флокуляції, фільтрування.

Органічні речовини із стічних вод видаляються методами екстракції або адсорбції, як правило, активованим вугіллям.

Вуглезбагачувані фабрики є потужним джерелом накопичення відходів, кількість яких становить близько 180 млн т. Ці відходи складають у відвали і терикони, висота яких досягає 60-100 м; кожен з них вміщає до 2000 тис. м<sup>3</sup> породи з щорічним поповненням в 30-50 тис. м<sup>3</sup>.

Пропонуються різні технічні рішення щодо приведення площ, які зайняті відвалами, у початковий стан або під забудову:

- розробка відвалів з вивозом породи для використання її як закладний матеріал або для заповнення вільних ємностей у кар'єрах;
- гасіння і перетворення териконів у плоскі відвали, озеленення і використання їх як вільних територій, позбавлених зон шкідливого впливу;
- планування породної маси на вільній площі або в межах відвалу;
- осушення, нанесення родючого ґрунтового шару і озеленення територій, зайнятих басейнами-сховищами.

Важливе значення у природоохоронній діяльності має рекультивація порушених земель.

## **9. Нафтогазові технології**

### **9.1. Підготовка нафти до переробки**

*Сира нафта* – суміш хімічних речовин, що містить декілька сотень компонентів. Основну частину нафти складають такі вуглеводні: алкани, циклоалкани, арени. Добута нафта завжди містить в собі попутний газ – 50–100 м<sup>3</sup>/т, воду – 200–300 кг/т, мінеральні солі – до 10–15 кг/т, механічні домішки.

Нафтовий газ містить легколеткі органічні (від метану до бутану) і неорганічні ( $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CO}_2$ ) газові компоненти. Розчинені солі представлені такими сполуками як  $\text{NaCl}$ ,  $\text{MgCl}_2$ ,  $\text{CaCl}_2$ , а також можуть бути карбонати та сульфати. Механічні домішки складаються із зважених часток піску, глини, вапняку, а також поверхнево-активних сполук нафти, які адсорбуючись на поверхні глобул води, утворюють нафтові емульсії.

З метою зниження витрат на переробку нафти, викликаних втратою легких компонентів і надмірним зношуванням нафтопроводів і апаратів переробки, нафта піддається попередній обробці.

Сира нафта з групи свердловин надходить у трапи-газосепаратори, у яких за рахунок послідовного зниження тиску попутний газ відділяється від рідини (нафта і вода), а далі частково звільняється від захопленого конденсату в проміжних приймачах. У трапах-газосепараторах одночасно з виділенням газу відбувається також відстоювання сирої нафти з відділенням механічних домішок і основної маси промислової води. Зважаючи на це, ці апарати називають також відстійниками. Після трапів-газосепараторів у нафті залишаються ще розчинені гази в кількості до 4% (мас.).

На рис.9.1 приведена схема горизонтального сепаратора, в якому частинки рідини осідають під дією сил гравітації та інерції.

Основний потік газу разом з найменшими частинками нафти, що не встигли осісти під дією сили тяжіння, зустрічає на своєму шляху жалюзійну насадку 4, в якій відбувається прилипання крапельок рідини і додаткове відділення їх від газу. При цьому утворюється плівка, котра стікає в піддон, а звідти по зливній трубі 12 вона потрапляє під рівень рідини в сепараторі. На рисунку у верхній частині сепаратора показана крапелька К та сили, що діють на неї, а в нижній частині сепаратора – бульбашка газу Б і також сили, які діють на неї. Очищена нафта з газосепараторів надходить у відстійні резервуари, з яких вона направляється на установку комплексної підготовки нафти, що передбачає процеси дегазації, зневоднення, знесолення та стабілізації нафти.

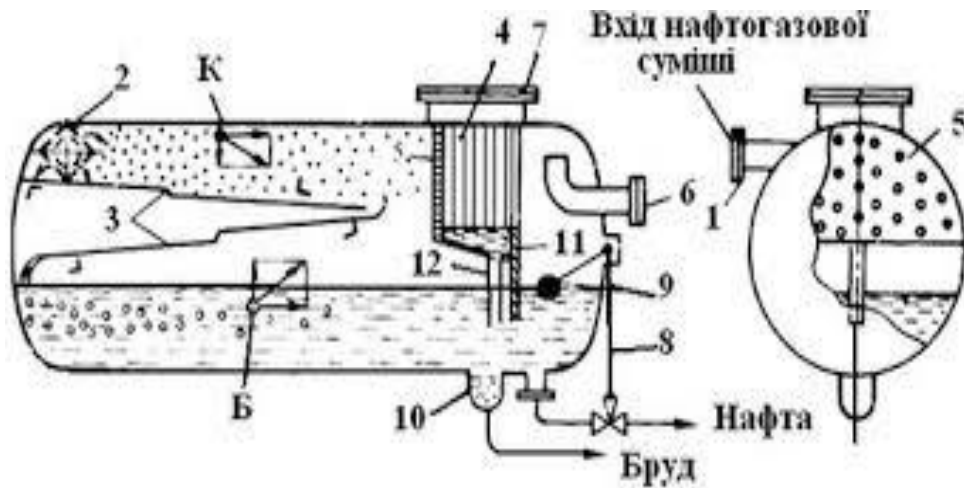


Рис. 9.1 – Загальний вигляд горизонтального сепаратора

1 – введення газонафтової суміші; 2 – диспергатор; 3 – похилі площини; жалюзійна насадка-краплеуловлювач; 5 – переділка для вирівнювання потоку газу; 6 – вихід газу; 7 – люк; 8 – регулятор рівня; 9 – поплавцевий рівнеутримувач; 10 – блок скидання бруду; 11 – переділка для запобігання прориву газу; 12 – зливна трубка

**Зневоднення нафти.** Для зневоднення та руйнування нафтових емульсій використовують такі методи:

- гравітаційне холодне розділення;
- внутрішньотрубна деемульсація;
- термічний вплив;
- термохімічний вплив;
- електричний вплив;
- фільтрація;
- розділення в полі відцентрових сил.

Найбільш простим у технологічному відношенні є процес гравітаційного відстоювання. Гравітаційне холодне розділення здійснюється, як правило, в сировинних резервуарах, коли нафта і вода не піддаються сильному перемішуванню та коли вміст пластової води в нафті досягає приблизно 60%.

У відстійниках безперервної дії відділення води здійснюється при

безперервному проходженні нафтоводної суміші через відстійник. Принципова схема відстійника безперервної дії наведена на рис. 9.2.

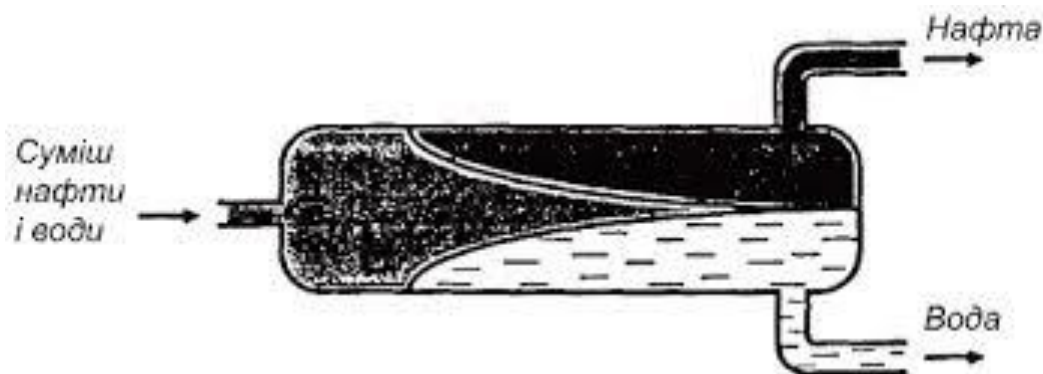


Рис. 9.2 – Принципова схема відстійника безперервної дії

Внутрішньотрубна деемульсація передбачає, що в міжтрубний простір експлуатаційних свердловин або на початок збірного колектора дозувальним насосом подається поверхнево-активна речовина – деемульгатор у співвідношенні 15 – 20 г на тонну нафтової емульсії. Основне призначення деемульгаторів – витіснити з поверхневого шару крапель води. Емульгатори – природні поверхнево-активні речовини, котрі містяться в нафті (асфальтени, нафтени, смоли, парафіни) та в пластовій воді.

При термічному впливі процес зневоднення проходить більш ефективно. Близько 80% всієї обводненої нафти, яка видобувається, обробляють на термохімічних установках. Поєднання застосування температури та емульгаторів є оптимальними факторами зневоднення нафти.

Найбільш низький залишковий вміст води досягається при використанні електричного зневоднювання. Нафту пропускають через спеціальні апарати-електродегідратори, у який створюється поле високої напруги. Для інтенсифікації процесу попередньо нафту нагрівають до 50 – 70°C.

Нестійкі емульсії іноді успішно розшаровуються при пропусканні їх через фільтруючий шар, складений із гравію, битого скла, деревних і металевих стружок, скловати та інших матеріалів. Досить ефективним є розділення водонафтових емульсій в полі відцентрових сил у центрифугах.

**Знесолення нафти.** Залишковий вміст солей у нафті є показником якості зневоднення та визначає витрати на додаткову підготовку нафти на нафтопереробному заводі.

Для проведення знесолення нафта, що пройшла зневоднення, змішується із прісною водою, і створює штучну емульсію, яку в процесі очищення руйнують. Вода очищується на установці і знову закачується в пласт для підтримки пластового тиску та витиснення нафти.

Найбільш ефективним є застосування промислових електрознесолювальних установок (ЕЛЗУ). Основним апаратом установки є електродегідратор, у якому, крім електрообробки нафтової емульсії, здійснюється і відстоювання (осадження) деемульгованої нафти. Серед застосовуваних у промислових і заводських ЕЛЗУ різних конструкцій найбільш ефективними є горизонтальні електродегідратори.

**Стабілізація нафти.** Стабілізацію здійснюють на промислах з метою скорочення втрат від випаровування в резервуарах при зливанні та наливанні нафти і нафтопродуктів, а також під час транспортування її до нафтопереробного заводу. При цьому втрати можуть досягати 5% (мас.). Крім того, наявність у нафті газів сприяє утворенню в трубопроводах газових пробок, які заважають перекачуванню.

Стабілізація нафти – це вилучення широкої фракції найбільш летких вуглеводнів (депропанізація, дебутанізація) звичайно від  $\text{C}_1\text{H}_4$  до  $\text{C}_4\text{H}_{10}$  (пропан, бутан) на промислі для їх використання як палива чи нафтохімічної сировини і одержання стабільної нафти, практично не здатної випаровуватися в атмосферу.

Стабілізація нафти здійснюється методом гарячої сепарації або методом ректифікації. При гарячій сепарації нафту спочатку нагрівають до температури 40—80°C, а потім подають у сепаратор (частіше горизонтальний). Легкі вуглеводні, що виділяються при цьому, відсмоктуються компресором і направляються в холодильну установку. Тут важкі вуглеводні конденсуються, а легкі збираються і закачуються у газопровід.

При ректифікації нафту піддають нагріву в спеціальній стабілізаційній колоні під тиском і при підвищених температурах (до 240 °С).

Для стабілізації промислової нафти з незначним вмістом розчинених газів застосовують одноколонні установки. Двоколонні установки використовують для нафти з високим вмістом розчинених газів – більше 1,5% (мас.).

Відокремлені в стабілізаційній колоні легкі фракції конденсують і перекачують на газофракційні установки або на газопереробні заводи для подальшої переробки.

Стічні води, що відділились від нафти на установках комплексної підготовки *нафти*, необхідно очистити від механічних домішок, крапель нафти, гідратів заліза та солей, і тільки після цього закачувати у пласти. Для очищення використовують відстоювання, фільтрування та флотацію. Відстоювання проводиться у горизонтальних або вертикальних відстійниках. Фільтрування здійснюється у механічних фільтрах із загрузкою поліетилену.

Разом з очищеною водою для підтримання пластового тиску закачують прісну воду, яку беруть із природних водойм. Вода відкритих водойм очищається від глинистих часток, сполук заліза, мікроорганізмів.

## **9.2. Процеси переробки нафти на нафтопереробних заводах**

Після попереднього очищення нафта надходить на нафтопереробні заводи. *Первинною переробкою* (прямою перегонкою) називається процес отримання нафтових фракцій, що розрізняються за температурою кипіння, без термічного розпаду компонентів нафти. В цілому первинна переробка нафти – сукупність процесів демінералізації нафти, перегонки нафти первинної, вакуумної перегонки мазуту, подальший поділ та очищення нафтових фракцій, одержаних при атмосферній та вакуумній перегонках.

*Вторинна переробка* нафти являє собою сукупність процесів деструктивної переробки нафти і очищення нафтопродуктів. Вона включає хімічні методи, з використанням яких під впливом температури, тиску, каталізаторів відбувається розщеплення великих молекул на дрібніші, що

входять до складу легких палив. Переробка нафти здійснюється з використанням таких основних процесів: перегонка; термічний крекінг; каталітичний крекінг; піроліз; коксування; деструктивна гідрогенізація. Найбільше поширення одержали різні види крекінгу.

При переробці нафти та нафтопродуктів використовуються наступні апарати:

1) для нагрівання нафти та її продуктів – трубчасті печі, які забезпечують передачу тепла від нагрітих газів до матеріалу через стінки труб та ін.;

2) для розділення продуктів нафтопереробки – ректифікаційні колони, що являють собою декілька поставлених одна на одну простих самостійних колон з відбором по висоті рідини та відпарними секціями, які дозволяють одержати пари низькокиплячих фракцій, рідкий нафтопродукт або дистилят (при атмосферному тиску або під вакуумом);

3) для проведення каталітичних процесів – контактні апарати та регенератори з фільтруючим шаром каталізатора, киплячим шаром та з рухомим каталізатором.

### ***Перегін нафти та його особливості.***

На кожному нафтопереробному заводі виконується первинний перегін нафти і це є першим технологічним процесом переробки нафти.

*Перегін (дистиляція) нафти* – процес її термічного розділення на частини (фракції) без помітного розкладання вуглеводнів, які входять до її складу, та які відрізняються за температурами кипіння. Фракції, що киплять при низьких температурах, називаються *легкими фракціями*, а висококиплячі – *важкими фракціями*.

Проста перегонка здійснюється поступовим, однократним або багаторазовим випаровуванням.

При нагріванні нафти з неї насамперед випаровуються найлегші, леткі вуглеводні. Протікає відділення парів від рідини, а потім рідка фаза, що

залишилася при віділенні парів першого ступеню, знову випарюється. Отже при безперервному підвищенні температури з нафти будуть випаровуватись все більш важкі, висококиплячі вуглеводні, які мають близьку температуру кипіння. При багатократному процесі одержані пари відбираються з апарату та конденсуються.

На сучасних підприємствах використовують установки перегону нафти з використанням одноразового випаровування. При цьому на протязі усього циклу нагріву суміші нафтопродуктів (до кінцевої температури) утворені пари не виводяться із системи та залишаються у контакті з рідиною. Після закінчення процесу парорідинна суміш виводиться у сепаратор, де пари відділяються від рідини.

Фракції, відігнані в широких температурних межах, називають *дистилятами*. Поділ нафти на дистиляти шляхом ступеневого випаровування й конденсації утворюваних фракцій називається *фракційною перегонкою*. Існують бензинові, лігроїнові, гасові, солярові й інші дистиляти. Таким чином, шляхом подальшої обробки дистилятів отримують різні нафтопродукти.

У процесах складної перегонки розрізняють *перегонку з дефлегмацією* та *перегонку з ректифікацією*. При перегонці з дефлегмацією пари, що утворюється, конденсують і частину конденсату у вигляді флегми подають назустріч потоку пари. У результаті однократного контактування парового та рідинного потоків пари, які відводяться з системи, протікає додаткове збагачення низькокиплячими компонентами. При цьому в певній мірі підвищується розділення сумішей.

*Перегонка з ректифікацією* – найпоширеніший процес, який здійснюється у ректифікаційних колонах шляхом багаторазового протитечійного контактування парів і рідини. *Ректифікація* – це дифузний процес поділу рідин, що розрізняються по температурах кипіння, за рахунок протитечійного, багаторазового контактування парів і рідини. У результаті кожного контакту компоненти перерозподіляються між фазами, тобто пара в певній мірі збагачується низькокиплячими, а рідина – висококиплячими

компонентами. Чіткість фракціонування нафтових сумішей визначається ступенем контакту фаз та технологічними параметрами

Залежно від напрямку використання фракцій установки перегонки нафти прийнято називати *паливними, мастильними або паливно-мастильними*; відповідно цього існують і варіанти переробки нафти. Крім того, існує *нафтохімічний* варіант переробки нафти, який додатково передбачає одержання нафтохімічної сировини (індивідуальні парафінові вуглеводні, олефіни, ароматичні вуглеводні, рідкий і твердий парафіни). Даний варіант є предметом нафтохімічної промисловості, що використовує хімічну переробку продукції нафтопереробної та газової промисловості.

За *паливним варіантом* нафта переробляється в основному на моторні й котельні палива. При *паливно-мастильному варіанті* переробки нафти разом з паливами одержують мастила. Для виробництва мастил звичайно підбирають нафти з високим потенційним вмістом масляних фракцій.

На рис. 9.3 приведена загальна принципова схема одержання нафтового палива на усіх етапах переробки нафти.

На нафтопереробному підприємстві при перегонці нафти на паливні фракції та мазут використовуються установки атмосферної перегонки, атмосферно–вакуумні трубчасті установки, а також комбіновані варіанти. Виділені з мазуту темні дистилятні фракції і гудрон переробляють на більш легкі нафтопродукти (крекінгом, коксуванням і ін.). Перегонку до гудрону проводять для одержання нафтових масел, коксу, бітуму. Якщо ж потрібно отримати максимальну кількість котельного палива, то обмежуються перегонкою до мазуту.

На рис. 9.4 приведена схема прямого перегону нафти на атмосферній установці, що передає одноразове випарювання нафти.

Нагрівання нафти відбувається в трубчастій печі, всередині якої розташований змієвик, що складається з багатьох з'єднаних між собою труб.

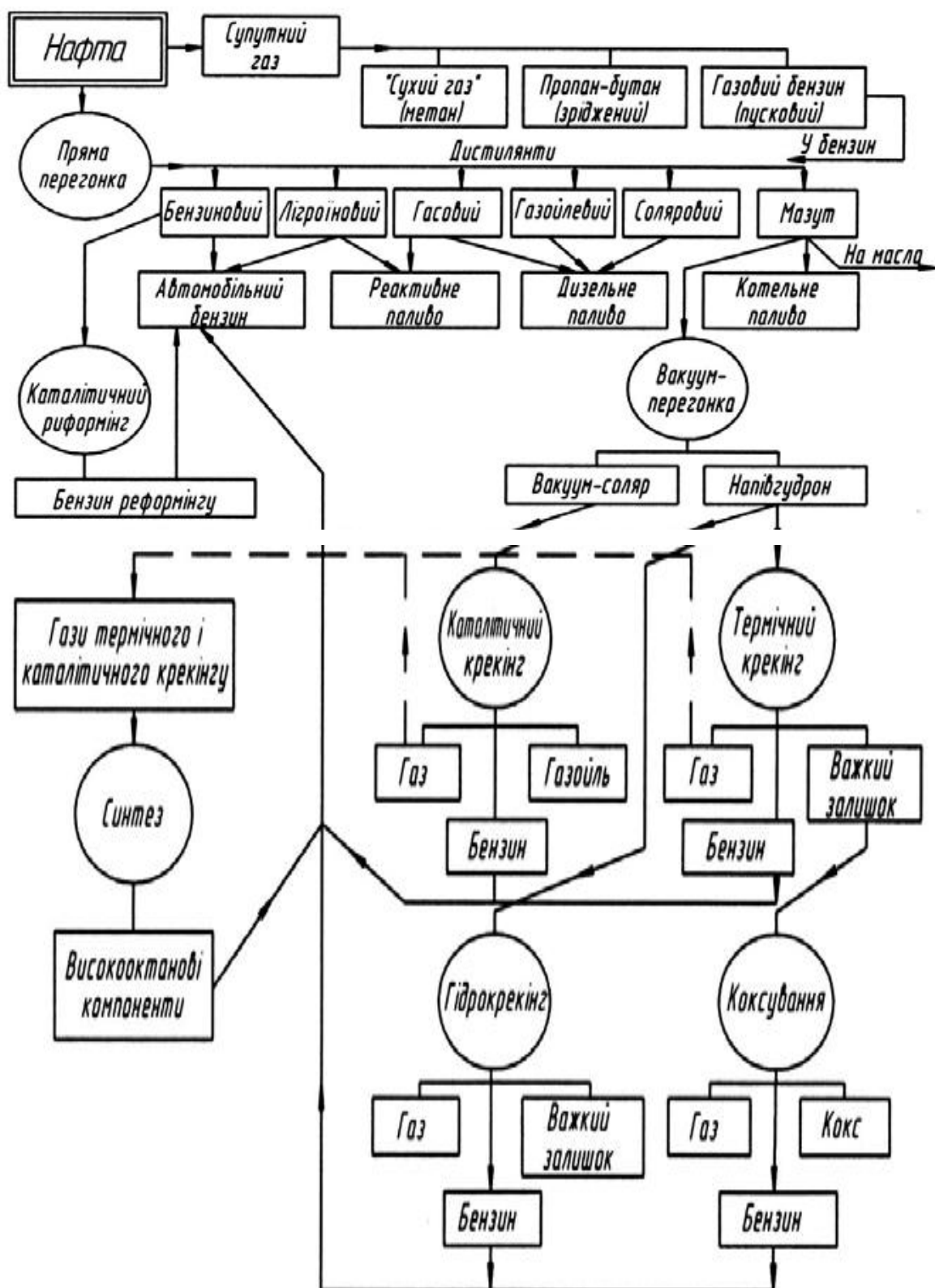


Рис. 9.3 – Принципова схема одержання нафтового палива.

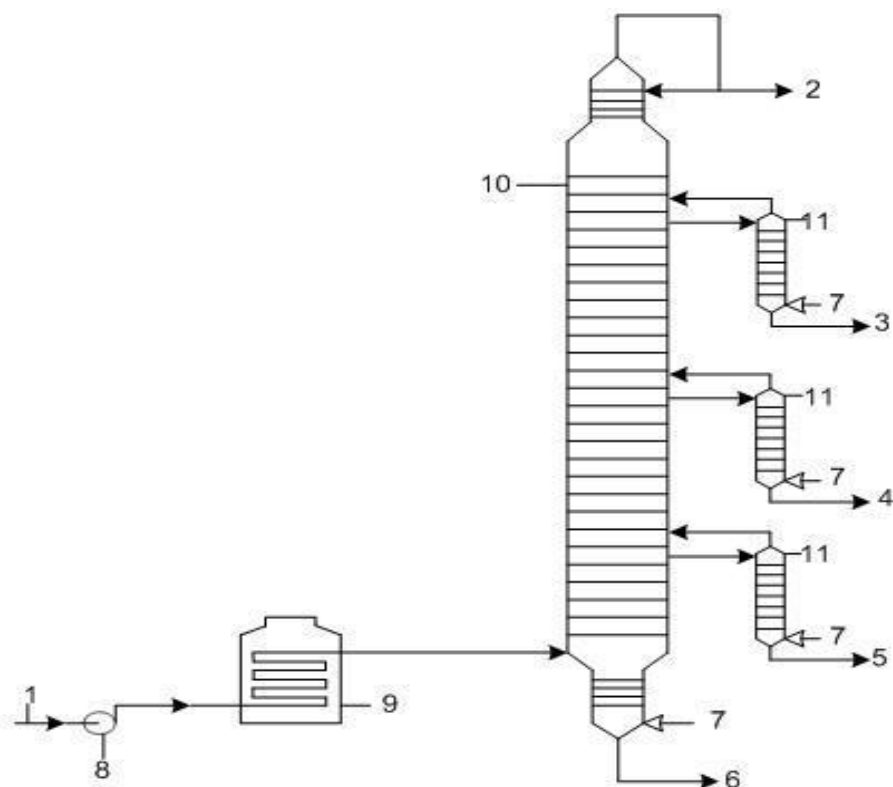


Рис. 9.4 – Схема перегонки нафти на атмосферній установці

1 – нафта; 2 – легкий бензин; 3 – важкий бензин; 4 – керосин; 5 – дизельне паливо; 6 – мазут; 7 – водяна пара; 8 – насос; 9 – трубчаста піч; 10 – атмосферна колона; 11 – стріппінг-секції.

Поверхня труб нагрівається за допомогою форсунок або пальників, у яких згорає рідке паливо. Нафта прокачується через ці труби, нагрівається до необхідної температури і частково перетворюється в пар. Пари нафти разом із залишком, що не випарувався, надходять у нижню частину ректифікаційної колони, куди подається також водяна пара.

У колоні відокремлюються у вигляді пари всі фракції, які повинні бути відігнані від нафти. У верхній частині колони відходить найбільш легка фракція – бензинова, що конденсується в конденсаторі, й через холодильник направляється в резервуари. Частина бензинової фракції після охолодження повертається назад у колону для зрошення. З колони також відбираються

фракції реактивного палива і дизельна фракція. Залежно від заданого асортименту можуть бути відібрані й інші фракції.

Для отримання товарних продуктів дистиляти, одержані перегонкою нафти, піддаються очищенню. З нижньої частини колони відходить залишок перегонки нафти – мазут. Мазут залежно від якості вихідної нафти може бути використаний як сировина для термічного крекінгу з метою отримання автомобільного бензину, мастил, бітуму, а також котельного палива.

*Ректифікаційна* колона – це сталевий циліндр висотою 40 м і діаметром 4 м. Усередині колони встановлено кілька десятків горизонтальних переділок, які називають тарілками. Кожна така тарілка має велику кількість отворів для проходження парів угору по колоні та для стікання рідини з тарілки на тарілку. Тарілки призначені для того, щоб забезпечити найбільш тісний контакт між парами, що піднімаються вгору по колоні, і рідкою флегмою, яка стікає вниз. Для ректифікації суміші необхідно, щоб температура рідкої та парової фаз, що взаємодіють на тарілках колони, була різною.

Для перегонки висококиплячих вуглеводнів, що потребують високу температуру нагріву (наприклад, для мазуту 500°C) використовують колону зі зниженим тиском, яку називають вакуум-колоною.

У вакуум-колону подають нагрітий до 400 – 420 °C мазут. Вуглеводні, що не випарувалися в атмосферній колоні, тут закипають і легко випаровуються. Утворені при цьому пари мазуту поділяються на дистиляти. Вакуумні трубчасті установки для перегону мазуту відрізняються від атмосферних лише в конструктивному відношенні та складаються в основному з аналогічних апаратів, які забезпечують перегін у вакуумі. У порівнянні з атмосферою, вакуум-колона більша за діаметром та менша за висотою та кількістю тарілок.

У результаті ректифікації з мазуту отримують дистиляти мастил: легкого солярового мастила, а також веретенного, машинного, циліндрового мастил. Гудрон як залишок від вакуумного перегону при переробці високоякісних нафт піддається складному очищенню для отримання високов'язких залишкових мастил (наприклад, авіаційних, дизельних). Крім того, гудрон можливо

переробляти на бітум шляхом окиснення на бітумних установках або використовувати як сировину для коксових установок і для установок термічного крекінгу.

На рис. 9.5 приведена принципова схема установки для атмосферно-вакуумної переробки нафти.

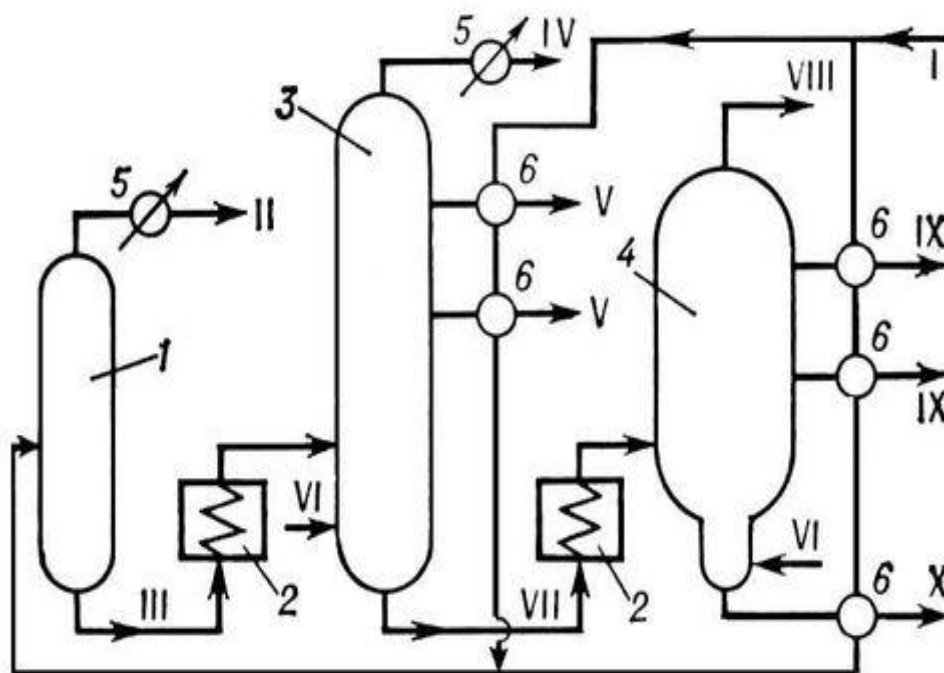


Рис. 9.5 – Принципова технологічна схема установки для атмосферно-вакуумної переробки нафти

1,3 – атмосферні колони ректифікації; 2 – печі для нагріву нафти і мазуту; 4 – вакуумна колона ректифікації; 5 – конденсатори-холодильники; 6 – теплообмінники.

Лінія I – нафта; II – легкий бензин; III – знебензинена нафта; IV – важкий бензин; V – гас і газойль; VI – водяна пара; VII – мазут; VIII – гази розкладання і водяна пара; IX – масляні фракції; X – гудрон.

Вихід продуктів перегонки залежить від складу природних нафтових систем, особливостей технологічного процесу та ін.

### ***Термодеструктивні процеси переробки нафти.***

У вторинній переробці нафти термічні процеси поділяються на наступні види.

1. *Термічний крекінг* висококиплячої дистилятної або залишкової сировини при підвищеному тиску (2–4 МПа) і температурі 500–540°C з одержанням газу і рідинних продуктів.

При прямому перегоні нафти на атмосферних і вакуумних установках після відділення всіх дистилятів залишається велика кількість мазуту. Такий мазут переробляють у бензин, дизельне паливо та інші легкі вуглеводні.

Технологічна схема крекінгу залежить від виду сировини. Термічний крекінг застосовується переважно як процес термopідготовки дистилятних видів сировини для установок коксування та виробництва термогазойлю. Для

важких нафтозалишків такий крекінг використовується у виді вісбрекінгу. Вісбрекінг характеризується обмеженою глибиною термолізу та проводиться при зниженому тиску (1,5–3 МПа) і температурі з ціллю зниження в'язкості котельного палива. Сировиною для вісбрекінгу є гудрон, але можлива і переробка важкої нафти, мазуту, асфальтів.

Крекінг-залишки використовують на теплових станціях та у промислових печах.

2. *Коксування* представляє собою тривалий процес термолізу важких нафтових залишків або ароматизованих висококиплячих дистилятів під атмосферним тиском і температурі 470-540°C. Призначення коксування – виробництво нафтових коксів. Побічними продуктами коксування є малоцінний газ, бензини низької якості та газойлі.

3. *Піроліз*, який полягає в розкладанні сировини при температурі 750°C і атмосферному тиску. При піролізі виходять ароматичні вуглеводні – бензол, толуол тощо. Піроліз проводять для виробництва газів, що містять олефіни.

4. *Процес одержання технічного вуглецю* (сажі) – високотемпературний (понад 1200°C) термоліз важкої високоароматизованої дистилятної сировини, проведений за низького тиску і малої тривалості.

5. *Процес одержання нафтових пеків (пекування)* – процес термолізу (карбонізації) важкої дистилятної або залишкової сировини, який проводиться при зниженому тиску, помірній температурі (360-420°C) і значній тривалості. Крім пеку у процесі отримують гази і гасо-газойлеві фракції.

6. *Процес одержання нафтових бітумів* – середньотемпературний тривалий процес окисної дегідроконденсації (карбонізації) важких нафтових залишків (гудронів, асфальтитів деасфальтизації), який проводиться при атмосферному тиску і температурі 250-300°C.

### ***Каталітичний крекінг.***

Крекінг відноситься до багатотоннажних процесів глибокої переробки нафти, що направлений на виробництво з максимально високим виходом високооктанового бензину і коштовних зріджених газів. Отриманий у процесі легкий газойль використовується зазвичай як компонент дизельного палива, а важкий газойль із високим вмістом поліциклічних ароматичних вуглеводнів – як сировина для виробництва технічного вуглецю або високоякісного електродного коксу.

При каталітичному крекінгу перетворення вуглеводнів відбувається під впливом каталізаторів, що прискорюють реакції розщеплення вуглеводнів. При застосуванні каталізаторів продукти виходять кращої якості, ніж при термічній переробці нафти. Крім того, температура даного виду крекінгу менше ніж у випадку термічного і складає 450–520°C. Для каталітичного крекінгу використовують різні каталізатори ( алюмосилікати, цеоліти та ін).

Процес каталітичного крекінгу потребує зовнішнього підводу тепла. Крекінг процес передбачає подачу гарячого каталізатору та парів сировини у реакційну камеру, з якої після завершення крекінгу каталізатор виводиться на регенерацію.

### 9.3. Нетрадиційна нафта та її види

«Нетрадиційна» нафта розташована у складних геологічних умовах, що потребує нетрадиційних методів геологічно-розвідувальних робіт, добування, переробки, транспортування. Тому її і називають нетрадиційною. Промислове видобування нетрадиційної нафти почалося порівняно недавно, така нафта є більш кошовною у порівнянні з «традиційною» нафтою.

До нетрадиційної нафти відносять *нафтоносні (бітумінозні) піски, сланцеву нафту і важку нафту*.

**Нафтоносні (бітумінозні) піски.** Бітуми – природні похідні нафти, які утворюються при порушенні консервації її покладів внаслідок хімічного та біохімічного окиснення. Бітумінозні піски – суміш піску, води, глини та бітумів. Такі піски мають високу щільність та в'язкість. Бітум являє собою важку нафту, яка потребує для придання плинності нагріву або розчинення.

Найбільші родовища бітумінозних пісків розташовуються в Канаді, Казахстані та Росії.

**Сланцева нафта.** Термін «сланцева нафта» може застосовуватись до нафти двох типів. Перший та основний тип являє собою нафту, що складається з легких фракцій, яка має властивості звичайної нафти, але міститься в щільних малопроникних осадових гірських породах – колекторах. У світовій практиці такі породи часто називають сланцями (shales). Синоніми цього типу нафти – *нафта щільних порід, малопроникна нафта*.

За складом сланцева нафта не відрізняється від традиційної, але відрізняється властивостями осадових порід, в яких вона залягає. Нафта міститься в порах чи лакунах пластів, які характеризуються низькою проникністю. Зважаючи на це, нафта не може вільно пересуватися всередині пласта і приплив нафти до звичайної свердловини буде практично відсутній. Для вилучення нафти необхідно в породі зробити систему чисельних тріщин з можливістю руху нафти. Технологія видобутку сланцевої нафти подібна до технології видобування сланцевого газу.

Технологія видобутку сланцевої нафти майже така ж, як при видобутку сланцевого газу: горизонтальне буріння, з тією лише різницею, що горизонтальну свердловину розташовують глибше – на рівень, де залягають більш важкі, ніж газ, конденсат і нафта. Для забезпечення припливу нафти до свердловини в породі створюється мережа тріщин за допомогою гідророзриву пласта (рис. 9.6). Існує також і традиційна методика видобутку сланцевої нафти, коли сланці спочатку видобуваються з-під землі, а потім переробляються або спалюються (другий тип нафти).

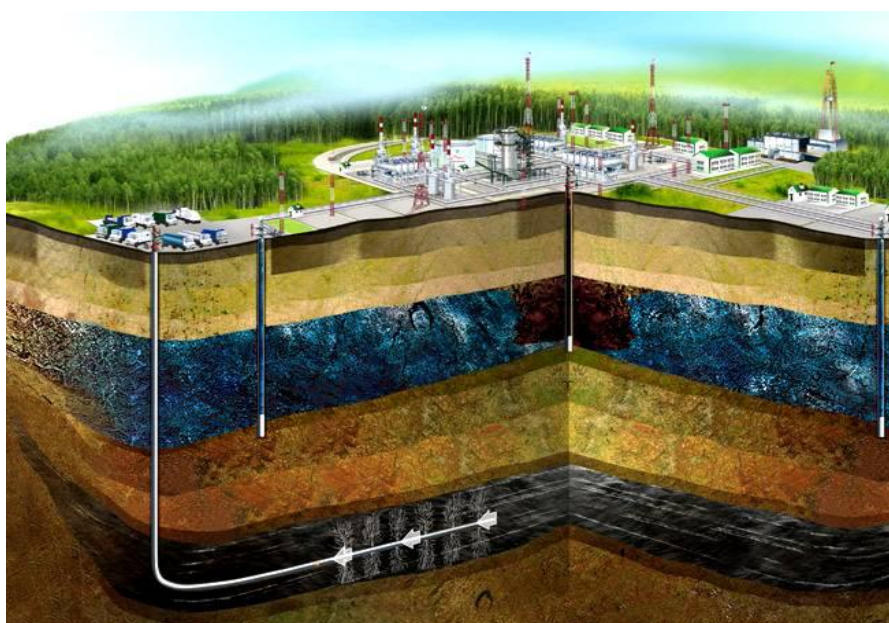


Рис.9.6 – Розробка сланцевої нафти шляхом гідророзриву пласта

Другий тип сланцевої нафти (*shale oil*) одержують з горючих сланців. Нафтові сланці або горючі сланці – це материнська порода, яка складається з вапняка, відкладень глинистих сланців, алевриту. Вона містить у собі визрівшу (сланцеву нафту) та велику кількість незизрівшої нафти – керогену. *Кероген* – речовина, яка ще не встигла стати нафтою в процесі природного перетворення. Така нафта за своїми властивостями (густина, в'язкість) значно відрізняється від легкої традиційної нафти і вимагає додаткової обробки для перетворення її в традиційну нафту.

Слід зазначити, що в Україні сланцевої нафти немає. За обсягами видобутих запасів нафти лідерами є Росія, США, Китай. Великі запаси сланцевої нафти розташовані також в Аргентині, Лівії, Венесуелі і Мексиці.

Горючі сланці використовуються для одержання синтетичного рідкого палива і мастил, використання сланцю як палива для ТЕС, для виготовлення будівельних матеріалів та ін.

**Важка нафта.** Це нафта з високою в'язкістю та густиною (понад 885 кг/м<sup>3</sup> при 20°C). Нафта має підвищений вміст асфальтено-смолистих речовин, в її складі переважають циклічні вуглеводні, вона має низький вміст легких фракцій. Нафта часто вміщує вуглеводневі сполуки, які містять сірку, кисень, азот, а також сполуки металів (в основному ванадію, нікелю, заліза, хрому). Важка нафта залягає в пісковиках, карбонатних або теригенних колекторах.

Для видобування *важких бітумінозних нафт і природних бітумів* використовують наступні технології:

- відкритим кар'єрним способом, а потім піддаються подальшій обробці;
  - циклічне закачування пари;
  - парогравітаційний метод дренажування;
  - холодний видобуток;
  - витяг розчинниками в пароподібному стані;
  - процес з додаванням розчинника;
  - комбінація внутрішньопластового горіння і видобутку нафти з горизонтальної свердловини;
  - технологія, що припускає використання каталізаторів окислення.
- Спроби видобувати важку нафту у теперішній час ще є поодинокими.

#### **9.4. Природний газ та альтернативні види газового палива.**

##### ***Природний та нафтовий газ***

Природний газ відноситься до корисних копалин і може перебувати у різних станах. В умовах залягання в земних надрах (пластові умови) природний

газ перебуває в газоподібному стані у вигляді окремих скупчень (газові поклади). Він також може бути у вигляді газової шапки нафтогазових родовищ (як попутний, вільний газ), або ж у пластових умовах у розчиненому стані в нафті чи воді. Також природний газ може перебувати у вигляді газогідратів.

*Природні горючі гази* являють собою суміш газоподібних сполук і елементів, таких як вуглеводні парафінового ряду від  $\text{CH}_4$  до  $\text{C}_5\text{H}_{12}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{SO}_2$ , та рідкісних газів – аргону, ксенону, неону, криптону, гелію. Крім того, у газах міститься діоксид вуглецю, азот, сірководень, інертні гази і т.п. Всього у природних газах нараховується до 20 складників. На практиці під природними газами розуміють горючі (вуглеводневі) гази, які є джерелом теплової енергії, а також при переробці дають можливість одержувати ряд цінних хімічних продуктів.

Гази проявляють відмінність не тільки складу, але і форм існування і виявів у природі. Форма існування горючих газів така: знаходження у надрах у вільному стані, в порожнинах гірських порід земної кори, у розчиненому вигляді (в підземних водах, нафті), а також у вигляді газових потоків, що переміщуються в земній корі.

Всі поклади газів за вмістом у них етану та пропану поділяються на групи:

- 1) етан-пропанова ( $\text{C}_2 > \text{C}_4$ );
- 2) пропан-етанова ( $\text{C}_4 > \text{C}_2$ );
- 3) змішана, що характеризується однаковими або близькими співвідношеннями  $\text{C}_2$  і  $\text{C}_4$ .

Найбільш поширеною є етан-пропанова група, що зустрічається в усіх видах покладів «сухих» газових, газонафтових і газоконденсатних родовищ. Пропан-етанова група знаходиться у газоконденсатних покладах. Змішана відноситься до менш поширеної й зустрічається і у нафтових, і у газових родовищах.

85% покладів природних газів має вуглеводневий склад з умістом вуглеводнів більше 80%. За хімічним складом горючі гази є сумішшю окремих газоподібних сполук ряду алканів загальної формули  $C_nH_{n+2}$ , де  $n$  – число від 1 до 5.

Метан та його гомологи є основною складовою частиною природних горючих газів. У суміші з іншими вуглеводневими газами вміст метану часто перевищує 90%. Нижча теплота згоряння метану – 34,0 – 37,2 МДж/м<sup>3</sup>, що у рази більша ніж кам'яного вугілля.

Крім метану та його гомологів, у природних вуглеводневих газах, як правило, містяться вуглекислота й азот. Уміст вуглекислоти в більшості випадків не перевищує 6 – 7%. При перевищенні вмісту цієї кислоти до 35% гази називають *вуглеводнево-вуглекислими*.

Уміст азоту в природних вуглеводневих газах, як правило, не перевищує 10%. Гази, у яких уміст азоту доходить до 45% та вище називаються *вуглеводнево-азотними*.

Кисень у горючих газах міститься в незначних кількостях (не більше 2%), а вміст сірководню у вуглеводневих газах рідко перевищує 5 – 6%.

Нафта і розчинений у ній газ утворюють нафтогазові пласти. Такий газ видобувається разом з нафтою.

Породи, здатні вміщувати та віддавати газ, називаються *газовими колекторами*. Вони утворюють у товщах гірських порід величезні підземні природні резервуари, зверху і знизу обмежені непроникними породами. Газ у підземних резервуарах знаходиться під значним тиском, при розкритті свердловини газ здатний притікати (фонтанувати) до поверхні з величезною швидкістю. При цьому спочатку починає фонтанувати газ газової шапки, а потім, унаслідок падіння тиску, буде виділятися газ з розчину (нафти).

Найбільш часто розповсюджені прості форми нафтогазових покладів показані на рис. 9.7.

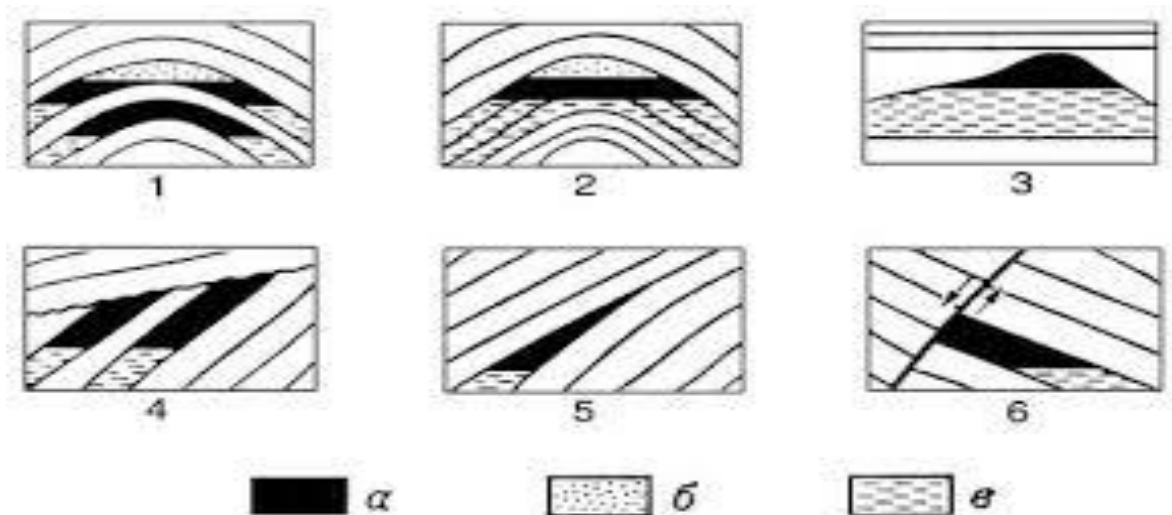


Рис. 9.7 – Нафтогазові поклади різного типу в гідравлічно незамкнених (1–3) і замкнених (4–6) пастках

а – нафта; б – газ; в – вода. 1 – пластові склепінчасті нафтові і газонафтові поклади; 2 – масивний склепінчастий газонафтовий поклад; 3 – нафтовий поклад у виступі палеорельєфу, первинного або вторинного (ерозійного); 4 – нафтовий поклад, екранований стратиграфічним неузгодженням; 5 – нафтовий поклад у пастці первинного виклинювання колектора; 6 – тектонічно екранований поклад нафти.

Як правило, на 1 т нафти приходитьсся 200 – 400 м<sup>3</sup> газу.

### ***Гази вугільних родовищ.***

У вугільних пластах і вмісних породах міститься метан, який називають метаном вугільних родовищ.

Гази вугільних родовищ – це гази, адсорбовані у самому вугіллі, а також ті, що знаходяться у пустотах супутніх гірських порід (суфляри). Переважно газ вугільних родовищ складає метан. У викопному вугіллі метан знаходиться в трьох станах: вільному (в порах), адсорбованому (на поверхні, головним чином, пор) і розчиненому в органіці вугільної речовини.

В Україні метаносність кам'яного вугілля Донецького та Львівсько-Волинського басейнів коливається в межах 0,5 – 25 м<sup>3</sup>/т. У вмісних породах акумульовано більше вуглеводневих газів, ніж у вугільних пластах ( 1,5 – 2,0 трлн м<sup>3</sup> метану). В цілому, вугільні родовища України містять близько 2,5 – 3,0 трлн м<sup>3</sup> метану.

В процесі видобутку вугілля щорічно виділяється більше 2 млрд м<sup>3</sup> газу (метану), але утилізується лише близько 200 млн м<sup>3</sup> (менше 30% від загального обсягу метану), а залишок спалюється у факелах.

Утилізувати метан можливо двома шляхами:

- буріння свердловин і видалення метану шляхом подачі його по трубопроводу споживачу;
- буріння дрібних свердловин в районі відпрацьованого гірничого масиву до глибини гірничих виробок.

Такі свердловини ув'язані трубопроводом з факельною (когенераційною) установкою, де відбувається спалення газу.

Метан вугільних покладів може бути використаний як самостійний, відносно доступний вид вуглеводневої сировини. Разом з тим, слід зазначити, що використання метану вугільних пластів в Україні ще не досить розповсюджено.

Шахтний метан створює небезпечні умови праці та загрозу здоров'ю і життю шахтарів. Водночас при надходженні газу у повітря він викликає значне погіршення екологічного стану довкілля. Перш за все це стосується забруднення атмосферного повітря та підсилення парникового ефекту. У структурі викидів парникових газів в Україні метан займає близько 35%. Викиди метану в процесі видобутку вугілля складають 80% від усіх викидів метану в енергетиці України. Основними джерелами викидів метану з вугільних родовищ є системи вентиляції та дегазації.

### ***Сланцевий природний газ***

*Сланцевий природний газ* – це природний газ, що міститься у незначних

кількостях (2–3% об'ємних) в низькопористих і погано проникних осадових гірських породах на глибинах від 1 до 5–6 км. Сланцеві пласти – гірські породи з характерним шаруватим розташуванням мінералів.

Горючий сланець складається з мінеральних (кальцити, доломіт, гідрослюди, каолінит, кварц, польовий шпат, пірит та ін.) та органічних частин (кероген). Органічна частина складає від 10–30% до 50–70% в сланцях самої високої якості.

Сланцевий газ складається в основному з метану, але в його складі є і інші гази:  $H_2$  – 25–40%; CO – 10–20%;  $CO_2$  – 10–20%;  $C_2H_4$  та інші вуглеводні – 4–5%;  $N_2$  – 22–25%;  $O_2$  – не більше 1%.

Поклади газу знаходяться у низькопористих породах змішаної літології, всередині товщі яких утворились вуглеводні; ці породи розглядаються і як нафтогазоматеринська порода і як резервуар газу. Сланцевий газ міститься в невеликих кількостях (0,2–3,2 млрд  $m^3/km^2$ ), але разом з тим за рахунок використання великих площ можна одержувати значну кількість такого газу.

Сланцевий газ може знаходитись у 3-х станах: газоподібному, штучно зрідженому та у виді газогідратів.

Так як газ не утворює суцільної фази у колекторі, як це має місце при традиційному видобуванні газу, то для промислового видобування необхідно створювати систему штучних тріщин. Для цього використовують горизонтальне буріння, гідророзрив пласта (фрекінг) і сейсмічне моделювання. Існує пропозиція щодо заміни гідророзриву пласта безводним пропановим фрекінгом.

При *горизонтальному бурінні* бурові роботи проводять не у вертикальній, а у горизонтальній площині. При цьому сланцевий пласт розкривається у багатьох містах. Газ, що звільнився, піднімається по каналу пробурення уверх та збирається у резервуари.

Схема, що ілюструє видобуток сланцевого газу приведена на рис. 7.8.

## Видобуток сланцевого газу

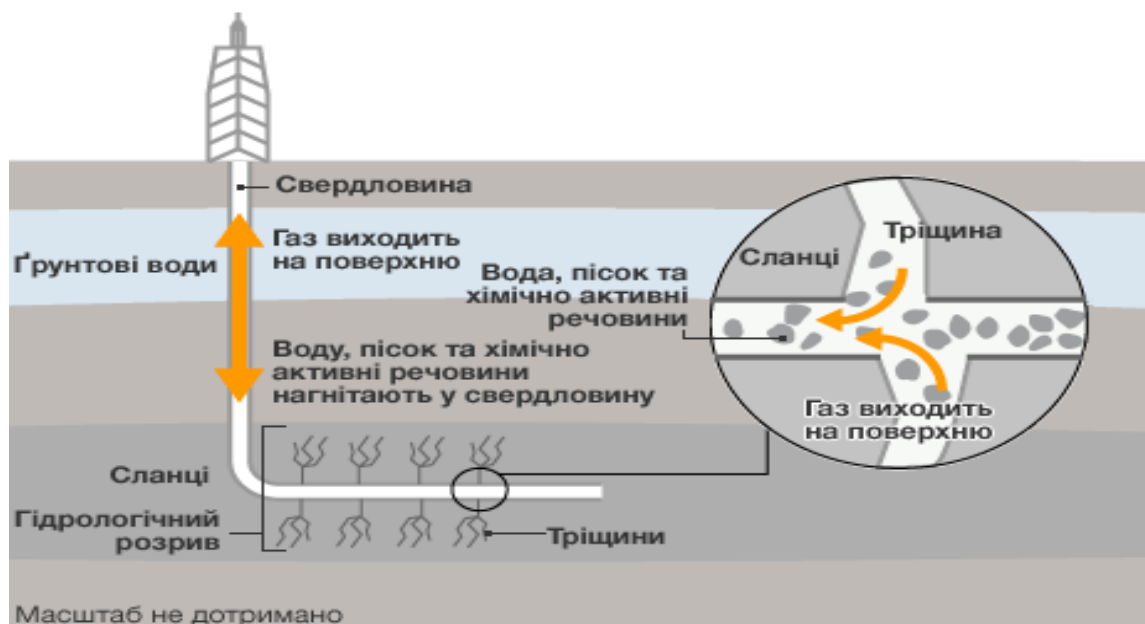


Рис. 9.8 – Схема видобутку сланцевого газу

[ [https://www.bbc.com/ukrainian/business/2013/02/130214\\_shale\\_oli\\_pwc\\_az.shtml](https://www.bbc.com/ukrainian/business/2013/02/130214_shale_oli_pwc_az.shtml) ]

Гідророзрив пласту передбачає буріння вертикальних та горизонтальних свердловин та заливання води, яка перемішується з піском і хімікатами. Проходить гідророзрив, що порушує стіни газових колекторів, і газ виходить на поверхню. У якості хімікатів використовують 1% соляну кислоту, реагенти для кращого розчинення породи, а також гранули для заклинювання пластинок сланцевої породи.

Для гідророзриву пласту перспективним є застосування пропанового фрекінгу, який виключає використання води та хімікатів. Замість водного розчину використовується спеціальна речовина. Остання не залишається у пласту, а випарюється. Такий метод є досить екологічним, але його вартість порівняно висока.

Екологічні аспекти добування сланцевого газу постійно аналізуються. Існує думка щодо небезпечності видобутку сланцевого газу. Виникнення землетрусів, вплив розповсюдження тріщин у породі чи забруднення питної води мають надзвичайно низький ступінь ризику, але герметичність свердловини є критично важливим компонентом безпеки. Небезпеку для

довкілля має хімічний склад суміші, яка використовується для гідророзриву пласта. Дані відносно кількості речовин, що використовуються, різняться і складають від 85 до сотень. Серед токсичних речовин виділяється бензол, соляна кислота, уксусний ангідрид, формальдегід та ін.

Певний вплив на баланс парникових газів може мати процес витоку летючого метану із гідророзривів.

Велика частина води, яка використовувалась для гідророзриву, повертається на поверхню. Вона містить хімічні речовини, які знаходились у породах: важкі метали, природні радіоактивні матеріали та різноманітні забруднюючі.

Добування сланцевого газу становить потенційну небезпеку по відношенню до водних ресурсів, які використовуються. Під час виконання гідравлічних розривів лише для однієї свердловини використовується від 9 000 до 29000 м<sup>3</sup> води. Велика частина води (1300 – 23000 м<sup>3</sup> води з однієї свердловини) потім повертається на поверхню. Також проблемою є утилізація забруднених вод, що використовували для гідравлічних розривів.

### ***Газові гідранти***

*Газогідрати* (гідрати природних газів, або клатрати) – це молекулярні тверді кристалічні сполуки газу з водою, які за зовнішніми ознаками подібні звичайному льоду. Кристалічна решітка газових гідрантів побудована з молекул води, у внутрішніх порожнинах яких розміщуються молекули газа.

Гідрати утворюються там, де газоподібні вуглеводні знаходяться поряд при низьких температурах та підвищеному тиску. Газовий гідрат об'ємом 1 см<sup>3</sup> може містити до 160–170 см<sup>3</sup> газу. Газами, які утворюють гідрати, можуть бути метан, етан, пропан, ізобутан, азот, аргон, діоксид вуглецю, кисень, криптон, ксенон, озон, сірководень і хлор. Найчастіше зустрічаються газогідрати, які містять метан.

Газогідрати залягають в основному в океанах і морях на глибинах від 300

до 1200 метрів. Поклади газогідратів виявлені на дні та під дном моря кількома прошарками завтовшки від 0,5 до 500 м.

За зовнішнім виглядом гідрати схожі на пухкий сніг з жовтуватим відтінком. Гідрати мають такі хімічні формули:

- для метану й етану  $\text{CH}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  і  $\text{C}_2\text{H}_6 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ;
- для пропану та бутану  $\text{C}_3\text{H}_8 \cdot 17\text{H}_2\text{O}$  і  $\text{C}_4\text{H}_{10} \cdot 17\text{H}_2\text{O}$ .

Гідрати належать до нестійких сполук та за деяких умов швидко розкладаються на газ і воду.

Існують такі технології видобутку метану з газогідратів:

- депресивний спосіб, який полягає в штучному зниженні тиску або розгерметизації пласту газогідрату нижче рівноважного за допомогою відкачування води зі свердловини;
- тепловий метод полягає в нагріванні газогідратного пласта за допомогою закачування пари чи гарячої води (розмивається поклад газогідрату, після чого розчин надходить у свердловину та на поверхню);
- технологія заміщення, яка полягає у витісненні метану з «клітин» - клатратів шляхом заповнення їх іншим газом, наприклад, вуглекислим та ін.

Видобуток метану з газогідратів має екологічні ризики. У процесі видобутку метану з морського дна існує реальна небезпека підняття газогідратних мас на поверхню, що може призвести до вибухового виділення газу.

### **9.5. Вплив нафтогазової промисловості на довкілля**

В Україні знаходиться 6 нафтопереробних і 3 газопереробних заводи, загальна довжина нафтопродукто-газопроводів складає понад 35200 км. Підприємства нафтогазового комплексу впливають на стан довкілля у районах свого розташування. Особливого негативного впливу зазнають райони нафтогазовидобутку та нафтопереробки. Крім того, такі території можуть потерпати від аварій, ймовірність яких досить висока.

Майже всі виробничі об'єкти нафтогазової промисловості становлять підвищений екологічний ризик і забруднюють шкідливими речовинами атмосферне повітря, водні джерела, ґрунти. До складу забруднюючих речовин, крім природних вуглеводнів та продуктів переробки нафти і газу, відносяться каталізatori, різного роду реагенти, каталізatori ПАР, інгібітори, луги, кислоти, що використовуються у технологічних процесах.

До головних технологічних процесів нафтогазового виробництва, які чинять негативний вплив на довкілля, є буріння нафтогазових свердловин і свердловин різного призначення, нафтогазовидобуток, переробка нафти і газу, транспортування та зберігання вуглеводнів.

Джерелом забруднення атмосфери за технологією видобутку нафти і газу є комплексні збиральні пункти, сепаратори, ємності для зберігання нафти і газу, а також технологічні втрати нафтового газу в процесі ремонту свердловин.

### ***Нафтовидобуток та нафтопереробка.***

На бурових майданчиках нафтогазових свердловин основними забруднюючими речовинами атмосферного повітря є  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ , суміш насичених вуглеводнів  $\text{C}_2\text{--C}_8$ , граничні вуглеводні  $\text{C}_{12}\text{--C}_{19}$ ,  $\text{CO}$ , сірчистий ангідрид, сажа.

Бурові стічні води забруднені буровими розчинами, хімічними речовинами, диспергованими глинами, вибуреною породою та буровими шламами. У амбарах, що знаходяться на бурових територіях, накопичуються компоненти осаду бурових розчинів і залишки механічної очистки стічних вод, осад після технологічного очищення бурових розчинів, інші відходи (супутні води, емульсії, нафтові відходи тощо). Значну негативну дію такі споруди чинять на стан ґрунтів. Крім інших забруднювачів, у ґрунтові води з амбарів можуть надходити скиди сепараційних суспензій, емульсій, які не підлягають переробці, донного відстою з резервуарів і відходів обробки нафти.

На об'єктах транспортування та зберігання нафти до небезпечних відходів відносять ґрунт із нафтою, нафтопродуктами та нафтошламами. Ґрунт

може бути забрудненим нафтою внаслідок аварій або несанкціонованого відбору нафти. Нафтошлами утворюються унаслідок очищення резервуарів зберігання моторних масел, світлих нафтопродуктів (відходи масел та бензинових фракцій, що забруднені механічними домішками).

В процесі підготовки товарної нафти джерелами утворення нафтових шламів є прийомні амбари насосних станцій, кульові відстійники I-го ступеня підготовки, де відбувається часткова деемульсація і знесолення нафти, і кульові відстійники II-го ступеня підготовки.

Основні види відходів нафтопереробних заводів (НПЗ) представлені нафтовим шламом, кислими гудронами, активним мулом. Нафтові шлами утворюються в резервуарах для збереження нафти і темних нафтопродуктів, на очисних спорудах, а також в системі зворотного водопостачання і при очистці резервуарів. Вони представляють собою важкі нафтові залишки, які вміщують в середньому: 10–56% нафтопродуктів, 30–85% води, 1,3–46% твердих домішок. При зберіганні нафтошламів в шламонагромаджувачах і поповненні новими порціями відбувається перемішування та відстій. В результаті в ставках-нагромаджувачах утворюється три шари. Активний мул і осади від очисних споруд подаються на регенерацію, зневоднюються і подаються на поля фільтрації.

Утилізація нафтошламів може проводитись спалюванням, грануляцією, термічною обробкою, аерозольним каталізом, плазмокаталітичною утилізацією. Нафтошлами можливо утилізувати у будівництві, при коксуванні важкої вуглеводневої сировини та ін.

Викиди, що здійснюються в атмосферу, мають газоподібний, пароподібний чи аерозольний стан. Основними забруднюючими атмосферу речовинами є метан, бутан, сажа, бензол, оксиди азоту, аміак, сірководень та інші небезпечні речовини.

У всіх процесах на нафтопереробних підприємствах утворюються стічні води різного складу. Вміст забруднюючих речовин в стічних водах НПЗ визначається якістю нафти, яка переробляється, технологією її переробки і

якістю кінцевих продуктів виробництва. Основними забруднювачами стічних вод є нафта і нафтопродукти, мінеральні солі, феноли, синтетичні жирні кислоти.

У процесах переробки нафти використовуються значні обсяги води. Найбільша її кількість витрачається на стадії підготовки нафти в процесі її зневоднення і знесолення.

### ***Видобуток, транспортування природного газу.***

Негативний вплив на довкілля геолого-розвідувальних робіт та буріння свердловини включають наступне.

#### **1. Дія на атмосферу:**

- зміна складу і властивостей атмосфери; нагрівання повітря; збільшення фітотоксичних елементів у повітрі; загазованість атмосфери;
- забруднення атмосферного повітря викидами отруйних газів двигунів бурових установок; зміна складу і властивостей атмосфери; нагрівання повітря; збільшення фітотоксичних елементів у повітрі; надходження у повітряний басейн оксидів азоту, діоксиду вуглецю, сажі, вуглеводнів та ін.

#### **2. Вплив на водні об'єкти:**

- забруднення; підкислення; засолення; збільшення фітотоксичних елементів у воді; зміна якості ґрунтових вод;
- зменшення запасів ґрунтових вод; забруднення шкідливими речовинами; підкислення; засолення; збільшення фітотоксичних елементів у воді; зміна запасів води; зміна водного режиму; зміна якості та рівнів ґрунтових вод; зміна складу та властивостей ґрунтових та підземних вод; забруднення відпрацьованими розчинами.

#### **3. Вплив на ґрунт:**

- ущільнення ґрунту; погіршення фізико-механічних і хіміко-біологічних властивостей ґрунтового шару; забруднення хімічними речовинами; порушення ґрунтового покриву;

– зменшення вмісту гумусу; зміна кислотності; аномальне нагромадження важких металів; погіршення фізико-механічних і хіміко-біологічних властивостей ґрунтового шару; засмічення ґрунтів відходами будівництва; зменшення вмісту мінерального азоту та рухомих сполук Р і К; ерозія ґрунту.

#### 4. Дія на геологічне середовище:

– відчуження земель; забруднення земель; пошкодження мікрорельєфу; порушення форм природного рельєфу; деформація поверхні; утворення відходів;

– зміна фільтраційно-ємнісних параметрів порід; вилучення земель із сільськогосподарського обороту; техногенний вплив на літосферне середовище.

5. Вплив на рослинний і тваринний світ: вирубування лісів; порушення традиційного гніздування птахів; зміна кількісного і видового складу тварин і рослин; засмічення рослинного покриву; забруднення промисловими та побутовими відходами і стоками, хімічними реагентами.

6. Порушення екосистеми: порушення природної екологічної рівноваги; падіння ресурсно-біогенного потенціалу біосфери; деградація компонентів природного середовища; зміна природних ландшафтів на антропогенний.

7. Вплив на населення та персонал: шумові забруднення; вібрація; світлове забруднення; рух транспорту; псування доріг; використання токсичних хімічних речовин; знищення і псування посіву сільськогосподарських культур і сінокісних угідь; утворення відходів; вміст у атмосфері шкідливих та токсичних речовин, що негативно впливають на здоров'я людей

У життєвому циклі газової свердловини надходження забруднювальних речовин у навколишнє середовище може бути викликано технологічними та аварійними причинами. До технологічних причин відноситься:

– недотримання правил безпеки під час роботи з паливно-мастильними матеріалами, буровими та тампонажними розчинами;

– забруднення підземних вод питної якості через негерметичність колон і неякісне цементування;

– прориви трубопроводів, розливи паливно-мастильних матеріалів;

– забруднення атмосферного повітря під час роботи бурової установки та спалюванні продуктів випробування свердловини.

Високонебезпечними (клас 2-й) отруйними компонентами природного газу є меркаптани, оксиди азоту і сірководень; помірно небезпечними – метанол, діоксид сірки (клас 3-й); малонебезпечними (клас 4-й) – діоксид вуглецю, насичені вуглеводні. До 1-го класу (надзвичайно небезпечні) належать тетраетиленсвинець, ртуть та інші метали нафти. Перше місце серед найсильніших токсикантів (після свинцю та ртуті) посідають ванадій і нікель.

До основних забруднювачів навколишнього середовища у підземних сховищах газу відносяться газоподібні викиди, нафтошлами і мазут, побутові і виробничі стічні води. Під час зупинок газо-мотокомпресорної установки відбувається стравлення природного газу, і, в результаті, в атмосферу викидається значна кількість  $\text{CH}_4$ .

Для зменшення забруднення атмосфери вуглеводнями та іншими компонентами, які містяться в газі при його витoku з трубопровідної системи, передбачено його спалювання в факелі.

У процесі транспортування газу, при періодичному очищенні газопроводу в пиловловлювачах відокремлюється продувочний шлам, який складається з твердих і рідких компонентів. Він накопичується в трубопроводі, збирається у певні ємності і підлягає утилізації. Ці домішки мають багатокomпонентний склад і представлені твердою і розчиненою органічною фазами. До відходів технології очищення газу від механічних домішок відносять відпрацьовані масляні фільтри, фільтраційний матеріал, керамічні насадки.

### *КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДО РОЗДІЛУ*

1. Яка структура та в чому полягають особливості паливно-енергетичного комплексу України?
2. Проаналізуйте стан забезпечення власними паливно-енергетичними ресурсами в Україні.
3. Приведіть основні характеристики вугілля.

4. Якими технологічними процесами характеризується збагачення вугілля?
5. В чому полягає суть переробки вугілля напівкоксуванням та коксуванням?
6. Охарактеризуйте основні перетворення, що супроводжують газифікацію вугілля з утворенням генераторного газу (повітряного, водяного та ін.).
7. Проведіть оцінку негативного впливу вугледобування та вуглезбагачення на елементи довкілля. Які заходи рекомендуються для охорони навколишнього середовища?
8. Охарактеризуйте основні процеси та апарати підготовки нафти до переробки.
9. В чому полягає первинна переробка нафти на нафтопереробних заводах?
10. Охарактеризуйте особливості та принципові схеми первинної переробки нафти на нафтопереробних підприємствах.
11. Які процеси застосовуються для вторинної переробки нафти на нафтопереробних заводах?
12. Що таке нетрадиційна нафта? Приведіть характеристику її видів та особливостей видобування.
13. Проаналізуйте особливості газу вугільних родовищ України.
14. Який природний газ називається сланцевим? Як проводиться видобування сланцевого газу?
15. Обґрунтуйте суть впливу нафтогазової промисловості на довкілля.

#### *РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА*

##### *Основна*

1. Разумний Ю.Т. Ефективне використання електроенергії та палива: навч. посіб. / Ю.Т.Разумний, А.В.Рухлов, В.М.Прокуда, Н.Ю.Рухлова.— Д.: НГУ, 2014. – 223 с.

2. Бондаренко В.И. Угольная шахта:учебник / В.И.Бондаренко, Н.К.Руденко, В.Ю.Медяник. –Днепр:НГУ, 2017. – 270 с.
3. Смирнов В.О. Технологія збагачення вугілля : навч. посіб. / В.О.Смирнов, П.В.Сергєєв, В.С.Білецький. – Донецьк : Східний видавничий дім, 2011. – 476 с.
4. Бирюков А.Б. Сжигание и термическая переработка органических топлив. Твердое топливо: учеб. пособ. / А.Б.Бирюков, И.П.Дробышевская, Ю.Е.Рубан. – Донецк: ГВУЗ «ДонНТУ», 2014. – 232 с.
5. Саранчук В.І. Основи хімії і фізики горючих копалин / В.І.Саранчук, М.О. Ільяшов, В.В.Ошовський, В.С.Білецький. – Донецьк: Східний видавничий дім, 2008. – 640 с.
6. Склабінський В.І.Технологічні основи нафто- та газопереробки: навч. посіб. / В.І.Склабінський, О.О.Ляпощенко, А.Є.Артюхов. – Суми: Сумський державний університет, 2011. – 186 с.
7. Білецький В. С. Основи нафтогазової справи / В.С.Білецький, В.М.Орловський, В.І.Дмитренко, А.М.Похилко. – Полтава : ПолтНТУ, Київ : ФОП Халіков Р.Х., 2017. – 312 с.
8. Паливно-мастильні матеріали, технічні рідини та системи їх забезпечення /Упор. В.Я.Чабанний. – Кіровоград: Центрально-Українське видавництво, 2008. – 353 с.
9. Білецький В. С. Історія та перспективи нафтогазовидобування: навч. посіб./ В.С.Білецький, Г.І. Гайко, В.М.Орлинський. – Київ: ФОП Халіков Р. Х., 2019. – 302 с.

#### Додаткова

10. Огляд аналітичних робіт міжнародних енергетичних організацій щодо стану та сценаріїв розвитку світової енергетичної сфери з прогнозом інвестування в енергоефективність [Електронний ресурс]. – Київ, 2018. – Режим доступу: [https://ua.energy/wp-content/uploads/2018/06/2.-rozvyt\\_svit\\_energet\\_sfery.pdf](https://ua.energy/wp-content/uploads/2018/06/2.-rozvyt_svit_energet_sfery.pdf). –Дата звернення: 03 червня 2019.

11. Дубневич Ю. Потенціал біомаси у формуванні енергетичної безпеки України [Електронний ресурс] / Ю.Дубневич // Аграрна економіка. – 2012. – Т. 5, № 1–2. – С.116 – 128. – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/ae\\_2012\\_5\\_1-2\\_23](http://nbuv.gov.ua/UJRN/ae_2012_5_1-2_23). – Дата звернення: 03 червня 2019.
12. Маркевич К. Глобальні енергетичні тренди крізь призму національних інтересів України: аналітична доповідь / К.Маркевич, В. Омельченко. – Київ: Заповіт, 2016. – 118с.
13. Україна і політика протидії зміні клімату: економічний аспект: аналітична доповідь [Електронний ресурс] / за заг. ред. В.Р. Сіденка та О.О.Веклич. – Київ: Заповіт, 2016. – 208 с. – Режим доступу: [http://razumkov.org.ua/images/Material\\_Conference/11\\_24\\_2016/2016\\_Klimat.pdf](http://razumkov.org.ua/images/Material_Conference/11_24_2016/2016_Klimat.pdf) . – Дата звернення: 03 червня 2019.
14. Ляшенко О.Ф. Стан та перспективи розвитку вуглезбагачення в Україні / О.Ф.Ляшенко, М.О.Перов, І.Ю.Новицький // Проблеми загальної енергетики, 2007. – №16. – С.16 –20.
15. Енергетика: історія, сучасність і майбутнє [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://energetika.in.ua/ua/books/book-1/part-2/section-7/7-6> . – Дата звернення: 03 червня 2019.
16. Терещук О. Вплив відвалів гірничодобувної промисловості на навколишнє середовище Нововолинського гірничопромислового району / О. Терещук // Вісник Львівського ун-ту, 2007. – Вип. 34. – С. 279 –285.
17. Алешина А. С. Газификация твердого топлива: учеб. пособ./ А.С.Алешина, В.В.Сергеев. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2010. – 202 с.
18. Газификация твердого топлива – альтернатива природному газу [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [Kiem\\_2011\\_3\\_5.pdf](#) . – Дата звернення: 03 червня 2019.
19. Козлов С.Н. Переработка углей в синтетические жижки топлива: учеб.пособ. / С.Н. Козлов С.Н., А.В.Фоминых, И.Н. Филимонова. – Бийск: Изд-во Алт.гос.техн.ун-та, 2011. – 48 с.

20. Гроза В.А. Екологічні аспекти експлуатації газової свердловини / В.А.Гроза В.А, О.М.Антонів // Наукоємні технології, 2014. – № 1 (21). – С.125 – 130.
21. Маланчук З.Р. Спеціальні технології видобутку корисних копалин: навч. посіб./ З.Р.Маланчук, Є.З.Маланчук, В.Я.Корнієнко. – Рівне : НУВГП, 2017. –266 с.
22. Безак-Мазур Е. Транскордонні проблеми токсикології довкілля / Е.Безак-Мазур, Т.Шендрік. – Донецьк : ГП “Інформ.-аналитический центр “Донбассинформ”, 2008. – 300 с.
23. Орфанова М.М. Напрямки покращання екологічної ситуації на підприємствах нафтогазового комплексу України / М.М. Орфанова // Энергосбережение, энергетика, энергоаудит, 2014. –№4(122). – С.69–75.
24. Екологічні проблеми видобутку шахтного метану [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://shalegas.in.ua/ekologichni-problemy-vydobutku-shahtnogo-metanu/> . Дата звернення: 03 червня 2019.
25. Клименко Л.П. Системи технологій: навч.посіб. / Л.П. Клименко, С.М.Соловйов, Г.Л.Норд. – Миколаїв: Вид-во МДГУ ім.Петра Могили, 2007. – 600 с.

### ЧАСТИНА 3. ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА

#### 10. Теплові електричні станції

##### 10.1. Технологічний процес виробництва енергії на теплових станціях

На теплових станціях, які знайшли значне розповсюдження, використовується теплова енергія, що виділяється при спалюванні органічного палива, а саме вугілля, нафти, газу та ін.

Тип теплової електричної станції на органічному паливі визначають наступні чинники: вид енергії, яка відпускається; вид палива, що використовується; тип основних турбін для приводу електрогенераторів; значення початкових параметрів пари та вид термодинамічного циклу і ін.

*За видом енергії, яка відпускається, відрізняють конденсаційні електростанції (КЕС) та теплоелектроцентралі (ТЕЦ). КЕС мають парові конденсаційні турбоагрегати, які відпускають енергію одного виду (електричну). ТЕЦ виробляють та відпускають зовнішнім споживачам електричну енергію та теплову енергію з паром або гарячою водою.*

За характером теплового споживання розрізняють ТЕЦ:

- 1) промислового типу з відпусткою підприємствам пари для технологічних процесі
- 2) опалювального типу, з відпуском тепла з гарячою водою для опалення та вентиляції будівель і для побутових потреб населення;
- 3) промислово-опалювального типу, з відпусткою пари і гарячої води для технологічних та опалювальних потреб.

КЕС районного значення зазвичай називають ДРЕС (державна районна електрична станція).

ТЕС змішаного типу мають конденсаційні та теплофікаційні турбогенератори.

*За видом палива, що використовується, розрізняють ТЕС на твердому, рідкому і газовому паливі; на двох або на всіх трьох видах палива. У якості*

рідкого палива використовують мазут, рідше сиру нафту; як газове паливо застосовують природний газ.

*За типом основних турбін* для приводу електрогенераторів розрізняють ТЕС з паровими (ПТ) і газовими турбінами (ГТ). Основне значення мають парові турбіни, які широко використовуються. Паро- та газові турбіни можуть комбінуватись і утворювати парогазові установки.

На паротурбінних ТЕС можливе застосування будь-якого виду органічного палива (вугілля, сланців, торфу, мазуту, газу), а на газотурбінних ТЕС – переважно газове або рідке паливо.

*За значенням початкових параметрів пари і видом термодинамічного циклу.* За рівнем початкового тиску свіжої пари розрізняють електростанції з докритичним (зазвичай нижче 16,0–17,0 МПа) і надкритичним (вище 22 МПа) тиском пари.

Сучасні великі КЕС споруджують з надкритичним початковим тиском пари, а ТЕЦ – переважно з докритичним тиском (13 МПа). Виняток становлять потужні теплофікаційні турбоагрегати з надкритичним тиском пари, що встановлюються в найбільш великих містах країни

Початкова температура пари і пари проміжного перегріву на ТЕС з тиском 13,0 або 24,0 МПа складає 540 °– 600°C.

*За типом парогенераторів.* На електростанціях з докритичним тиском встановлюють барабанні парогенератори з природною циркуляцією (типу Е) або прямоточні парогенератори (типу П).

*За технологічною структурою* (типом основної технологічної схеми) ТЕС ділять на блокові і позаблокові. Сучасні КЕС, які застосовують, як правило, проміжний перегрів пари, мають блочний тип. При блоковій структурі ТЕС кожна турбіна живиться парою тільки від парогенератора, який відноситься до неї. ТЕС складається як сукупність окремих енергоблоків, що мають лише допоміжні зв'язку між трубопроводами для пускових та інших цілей. ТЕС з такими схемами дешевше, простіше в управлінні і автоматизації.

КЕС з початковим тиском пари 9 МПа і нижче та ТЕЦ з тиском 13 МПа і нижче (ті й інші без проміжного перегріву пари) мають зазвичай позаблокову структуру, при якій магістралі свіжої пари і живильної води загальні для всіх парогенераторів.

Найбільша потужність ТЕС, що проектується ТЕС, – до 4000–6400 МВт, а діючих – до 2400–3000 МВт. Середні потужності (100 – 1000 МВт) характерні переважно для ТЕЦ. Найбільша потужність ТЕС обмежується місцевими умовами (забезпеченість паливом, умови водопостачання, вимоги до охорони довкілля).

*За зв'язком з енергетичною системою.* Електростанції, як правило, працюють в енергосистемах. Об'єднання електростанцій в енергосистеми має суттєві переваги.

*За ступенем завантаження та використання електричної потужності.* ТЕС поділяють на базові, з річним використанням максимальної (встановленої) потужності  $T_{\text{макс}} = 6000 - 7500$  год; напівбазові з  $T_{\text{макс}} = 4000 - 6000$  год; напівпікові з  $T_{\text{макс}} = 2000 - 4000$  год і пікові з  $T_{\text{макс}} -$  до 2000 год.

Тип електростанції характеризується рядом додаткових даних: системою технічного водопостачання; способом підготовки палива і системою пилоприготування; схемою відпустки тепла зовнішнім споживачам (для ТЕЦ); способом підготовки додаткової води парогенераторів; системою очищення димових газів і видалення шлаків і золи; способом розміщення обладнання в головному корпусі електростанції, будівель і споруд на її території.

### ***Технологічна схема паротурбінної електростанції***

До складу електростанцій входять: паливне господарство і пристрої для підготовки його перед спалюванням. Паливне господарство включає приймально-розвантажувальні пристрої, транспортні механізми, паливні склади (твердого та рідкого палива), пристрій для попередньої підготовки палива (дробильні установки). До складу мазутного господарства входять також

насоси, що перекачують, і підігрівачі. Рідке і газове паливо подається до топкових камер парогенераторів трубопроводами.

До складу кожного енергоблоку сучасної електростанції входять основні агрегати: турбінний та котельний та безпосередньо пов'язане з ними допоміжне устаткування. Турбіна разом з котлом, який живить її парою, утворює моноблок.

Схема виробництва електричної енергії на ТЕС, яка працює на твердому паливі, приведена на рис. 10.1

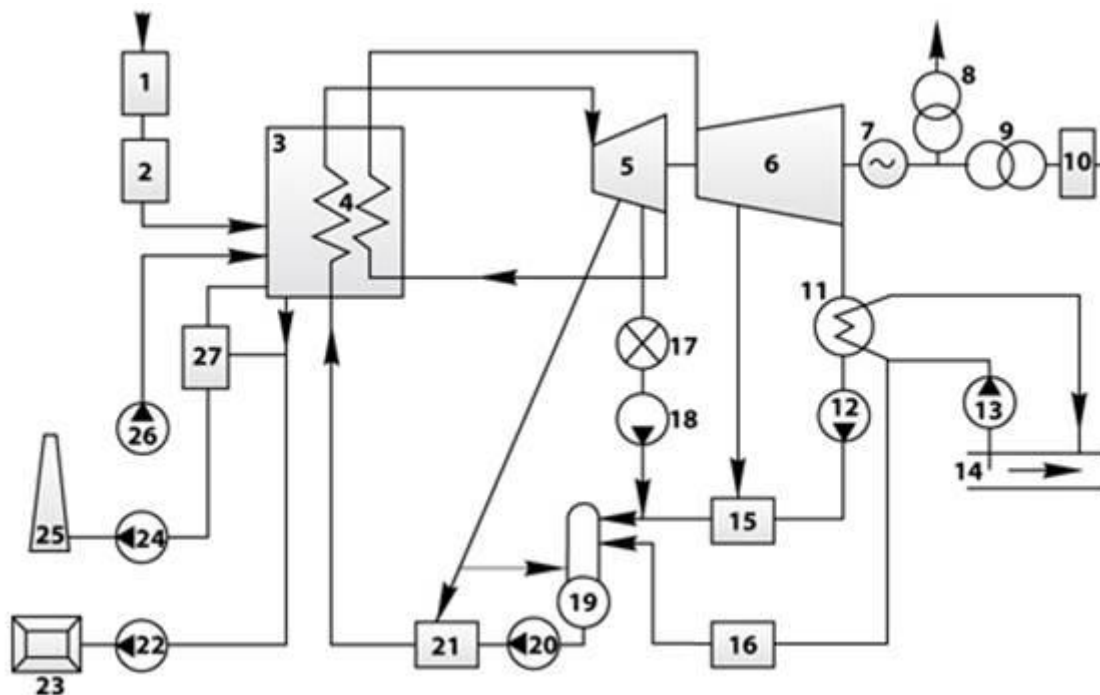


Рис. 10.1– Схема теплової електричної станції

1– паливне господарство; 2 – підготовка палива; 3 – котел; 4 – проміжний пароперегрівник; 5 – частина високого тиску парової турбіни; 6 – частина низького тиску парової турбіни ; 7 – електричний генератор; 8– трансформатор власних потреб; 9 – трансформатор зв'язку; 10 – головний розподільчий пристрій; 11– конденсатор; 12 – конденсатний насос; 13 – циркуляційний насос; 14 – джерело водопостачання (наприклад, річка); 15 – підігрівник низького тиску; 16– водопідготовча установка; 17 – споживач теплової енергії; 18 – насос зворотного конденсату; 19 – деаератор; 20 – живильний насос; 21 – підігрівник високого тиску; 22 – шлакозоловидалення; 23– золовідвал; 24 – димосос; 25– димар; 26 – дуттьовий вентилятор; 27 – золуловлювач

Вугілля надходить зі складу в систему підготовки палива. Підготовка твердого палива полягає в розмелі і сушінні його в пилоприготувальній установці, що розміщується зазвичай безпосередньо біля парогенераторів. Підготовка газового палива зводиться в основному до регулювання тиску газу перед надходженням його в топку парогенератора. Якщо використовується рідке паливо (мазут), то воно попередньо підігрівається до  $100 - 140^{\circ}\text{C}$  та розпорошується у форсунках.

Вугілля перетворившись у пил, надходить у пальники, де змішується з підігрітим повітрям, що подається дуттєвим вентилятором з атмосфери.

Для попереднього підігріву повітря використовуються калорифери, в яких температура повітря досягає  $70 - 80^{\circ}\text{C}$ . Повітря, необхідне для підтримки процесу горіння, підігрівається далі у повітропідігрівнику до  $250 - 400^{\circ}\text{C}$  за рахунок теплоти димових газів, які утворюються при згоранні палива. Паливо згорає в топковій камері парового котла з виділенням теплоти.

Негорюча частина твердих палив випадає в топці у вигляді шлаку, а значна частина у вигляді дрібних частинок («летюча» зола) попадає у димові гази. Димові гази очищаються у золоуловлювачах, а потім через димові труби направляються у атмосферу. Шлаки та зола видаляються за межі території електростанції на золовідвали. Сукупність каналів (повітроводів і газоходів) й різних елементів устаткування, по яких проходить повітря й димові гази, утворює газоповітряний тракт теплової електростанції (теплоцентралі). Димососи, димар і дуттєві вентилятори, що входять до його складу, складають тягодуттєву установку.

При спалюванні палива хімічно зв'язана енергія перетворюється в теплову. У результаті утворюються продукти згорання, які в поверхнях нагрівання котла віддають теплоту воді й парі, що утворюється з неї. При цьому вода, перетворюється спочатку в насичену пару, а потім у перегріту, що має більш високу температуру, ніж температура кипіння рідини при даному тиску.

Робочим тілом, тобто середовищем, яке здійснює роботу з перетворення теплової енергії у механічну, є водяна пара.

Сукупність устаткування, окремих його елементів, трубопроводів, по яких рухаються вода й пара, утворюють пароводяний тракт станції.

Паровий котел – це система теплообмінників з розвиненою поверхнею нагрівання. Процес пароутворення протікає у випарній (пароутворюючій) поверхні нагріву котла, а перегрів пари – у пароперегрівнику.

Температура в зоні активного горіння в топковій камері може досягати 1500–1800°C у залежності від виду палива і режиму горіння. Середня температура продуктів згоряння в топковій камері складає 1300 – 1400°C. Гази, що виходять з топкової камери, мають температуру 900– 1200°C. Пройшовши через перегрівники, гази охолоджуються до 800–900°C і далі – до 500–600°C.

На сучасних ТЕС і ТЕЦ із агрегатами одиничною потужністю 200 МВт і вище застосовують проміжний перегрів пари. У цьому випадку турбіна має дві частини: частину високого і частину низького тиску. Пара, що відпрацювала у частині високого тиску турбіни, направляється у проміжний перегрівник, де до неї додатково підводиться теплота. Далі пара повертається в турбіну (у частину низького тиску) і з неї надходить у конденсатор. Проміжний перегрів пари збільшує ККД турбінної установки й підвищує надійність її роботи.

З конденсатора конденсат відкачується конденсаційним насосом і, пройшовши через підігрівачі низького тиску (ПНТ), надходить у деаератор. Тут він нагрівається парою до температури насичення, при цьому з нього виділяються й виводяться в атмосферу кисень і вуглекислота для запобігання корозії встаткування. Деаерована вода, яка називається живильною, насосом подається через підігрівники високого тиску (ПВТ) у котел.

Конденсат у ПНТ і деаераторі, а також живильна вода у ПВТ підігріваються парою, що відбирається з турбіни. Такий спосіб підігріву означає повернення (регенерацію) теплоти в цикл і називається регенеративним підігрівом. Завдяки йому зменшується надходження пари в конденсатор, а отже, і кількість теплоти, яка передається охолоджуючій воді, що приводить до підвищення ККД паротурбінної установки.

Сукупність елементів, що забезпечують конденсатори охолоджуючою водою, називається системою технічного водопостачання. До неї відносяться: джерело водопостачання (річка, водоймище, баштовий охолоджувач – градирня), циркуляційний насос, водоводи, що підводять і відводять. Конденсатору, воді, що охолоджується, передається приблизно 55% теплоти пари, що надходить у турбіну; ця частина теплоти не використовується для вироблення електроенергії й даремно пропадає. Такі втрати значно зменшуються, якщо відбирати з турбіни пару, що частково відробила, і її теплоту використовувати для технологічних потреб промислових підприємств або підігріву води на опалення й гаряче водопостачання.

Таким чином, станція стає теплоелектроцентральною (ТЕЦ), що забезпечує комбіноване вироблення електричної й теплової енергії.

На ТЕЦ установлюються спеціальні турбіни з відбором пари, які називаються теплофікаційними. Конденсат пари, що віддається тепловому споживачеві, повертається на ТЕЦ насосом зворотного конденсату. На ТЕС існують внутрішні втрати пари й конденсату, обумовлені неповною герметичністю пароводяного тракту, а також безповоротною витратою пари й конденсату на технічні потреби станції. Вони становлять приблизно 1 – 1,5% від загальної витрати пари на турбіни.

На ТЕЦ можуть бути й зовнішні втрати пари й конденсату, пов'язані з відпущенням теплоти промисловим споживачам. У середньому вони становлять 35–50%. Внутрішні й зовнішні втрати пари й конденсату поповнюються попередньо обробленою у водопідготовчій установці додатковою водою.

Таким чином, живильна вода котлів являє собою суміш турбінного конденсату й додаткової води.

Слід зазначити, що найбільша кількість забруднюючих повітря речовин, що надходять в атмосферу, утворюється у котельному відділенні ТЕС. Тому основним сучасним напрямком використання палива, що передбачає зменшення викидів, є розвиток котельних установок.

Станом на 2015-2017 р.р. на більшості вітчизняних ТЕС було проведено ряд якісних змін, направлених на модернізацію технологічного обладнання з метою підвищення виробничих потужностей при максимальному зниженні енергозатрат. Серед них :

- введення в експлуатацію механізованих шнекових пробовідбірників UNI-SAMPLER для відбору проб вугілля, що надходить на станцію;
- проведення реконструкцій енергоблоків;
- заміна застарілого очисного обладнання .

Необхідність заміни обладнання обґрунтована економічною доцільністю, а також Директивою Європейського парламенту та Ради Європейського Союзу 2010/75/EU від 24.11.2010р. "Про промислові викиди (про комплексне запобігання забрудненню і контролю над ним) та "Технологічними нормативами допустимих викидів забруднюючих речовин із теплосилових установок, номінальна теплова потужність яких перевищує 50 МВт", затверджених наказом Мінприроди України від 22.10.2008 р. № 541 із змінами, внесеними згідно з Наказами Міністерства екології та природних ресурсів № 337 від 17.09.2015 р. та № 62 від 16.02.2018 р.

## **10.2. Зменшення забруднення довкілля від діяльності ТЕС.**

### **10.2.1. Захист атмосферного повітря**

Виробництво електричної та теплової енергії на ТЕС супроводжується негативним впливом на навколишнє середовище, що носить глобальний та локальний прояв. Шкідливий вплив обумовлений наступним:

- викидом в атмосферне повітря золи із частками неспаленого палива, оксидів азоту та сірки, сірчистого і сірчаного ангідридів, деякої кількості фтористих сполук та гідрокарбонатів, а також газоподібних продуктів неповного згоряння та ін.;

- надходженням у повітряний басейн великих обсягів діоксиду вуглецю, валові викиди якого становляться одним із основним чинником утворення «парникового ефекту» та зміни клімату;
- тепловим забрудненням атмосфери у районі розташування станції та водних об'єктів;
- споживанням значної кількості кисню та великих об'ємів води;
- скиданням стічних вод, що містять важкі метали, органічні сполуки, нафтопродукти та ін.;
- утворенням гідрозоловідвалів і забрудненням ландшафту;
- виникненням електромагнітних та електростатичних полів.

### ***Вплив на повітряний басейн.***

Основним паливом на теплових станціях є вугілля, природний газ, мазут. У таблиці 10.1 приведені дані щодо питомих викидів газоподібних забруднюючих речовин у повітряний басейн.

Таблиця 10.1 – Усереднені дані по питомій емісії газів від паливної енергетики ( на прикладі США )

| Вид газоподібного забруднювача   | Питомі значення г/кВт·год при використанні палива |               |       |         |
|----------------------------------|---------------------------------------------------|---------------|-------|---------|
|                                  | Вугілля                                           | Природний газ | Нафта | Середнє |
| Діоксид вуглецю, CO <sub>2</sub> | 967                                               | 468           | 708   | 690     |
| Діоксид сірки, SO <sub>2</sub>   | 6,1                                               | 0,0032        | 3,1   | 3,63    |
| Оксиди азоту, NO <sub>x</sub>    | 3,45                                              | 0,82          | 0,95  | 2,22    |

Як видно з табл. 10.1, основну частину викидів теплоелектростанцій становить вуглекислий газ.

Дані щодо щорічних викидів ТЕС в Україні приведені в таблиці 10.2.

Фактичні концентрації золи, оксидів сірки і азоту в димових газах ТЕС України наведено в таблиці 10.3.

Таблиця 10.2 – Щорічні викиди ТЕС в Україні

| Назва викиду                   | Кількість, т/рік |
|--------------------------------|------------------|
| Сірчистий ангідрид             | 5765,7           |
| Діоксид азоту                  | 4576             |
| Оксид азоту                    | 743,5            |
| Зважені частки (пил, аерозолі) | 148,3            |
| Зола                           | 2205,7           |
| Оксид вуглецю                  | 50,3             |
| Вуглеводні                     | 1,8              |
| Формальдегід                   | 6                |
| Важкі метали                   | 5                |

Таблиця 10.3 – Фактичні концентрації золи, оксидів сірки і азоту в димових газах ТЕС України

| Назва ТЕС          | Концентрації, мг/м <sup>3</sup> |                 |                 |
|--------------------|---------------------------------|-----------------|-----------------|
|                    | Зола                            | SO <sub>2</sub> | NO <sub>x</sub> |
| Криворізька ТЕС    | 1158–1427                       | 2589–2881       | –               |
| Зміївська ТЕС      | 1740                            | 1630            | 424             |
| Курахівська ТЕС    | 1200                            | 2100            | –               |
| Трипільська ТЕС    | 75                              | 2118            | 360             |
| Луганська ТЕС      | 340–2240                        | 271–2087        | 109–435         |
| Придніпровська ТЕС | 866                             | 1798            | –               |
| Ладизинська ТЕС    | 577–760                         | 3246            | 109             |
| Миронівська ТЕС    | 6011–8376                       | 2343–2930       | –               |

На сьогоднішній день концентрація твердих частинок на деяких ТЕЦ, що працюють на вугіллі, доходить до 800 – 2500 мг/м<sup>3</sup> і становить у викидних газах до 50 мг/м<sup>3</sup>.

Природний газ в екологічному сенсі є найчистішим видом палива. Водночас при спалюванні природного газу утворюються такі шкідливі речовини: діоксид вуглецю, оксиди азоту, а також у незначних кількостях оксиди сірки. Слід зазначити, що викид оксидів азоту при спалюванні на ТЕС, що працює на природному газу, в середньому на 20% нижче ніж при спалюванні вугілля. Це пояснюється особливостями процесу спалювання (коефіцієнт надлишку повітря при спалюванні вугілля нижче ніж при спалюванні природного газу).

Спалювання мазуту супроводжується викидом димових газів, що містять: сірчистий і сірчаний ангідриди  $\text{SO}_2$  і  $\text{SO}_3$ , оксиди азоту ( $\text{NO}$  і  $\text{NO}_2$ ), газоподібні і тверді продукти неповного згорання палива, сполуки ванадію, солі натрію, а також речовини, які видаляють з поверхні котлів під час їх очищення. У порівнянні з твердим паливом, рідке має таку перевагу як відсутність золовідвалів, тверді частки з яких виносяться з відвалу на великі території. Крім того, золовідвали займають значні території і виключають їх корисне використання. У продуктах згорання рідкого палива відсутня летюча зола.

При вступі до Енергетичного Співтовариства Україна взяла екологічні зобов'язання, які необхідно реалізовувати Об'єднаною електроенергетичною системою в певні терміни. На існуючих вугільних ТЕС України зниження надходження забруднюючих речовин до рівня, що відповідає нормативам ЄС, пов'язується зі встановленням високоефективних систем зниження викидів. При продовженні роботи вугільних ТЕС на перспективу до 20 років встановлення комплексних систем пилоочищення є менш ефективним, ніж впровадження новітніх вугільних технологій – енергоблоків на суперкритичні параметри пари та парогазових установок на базі технологій газифікації вугілля. Діючі ТЕС потребують реконструкції із заміною зношеного технологічного обладнання. Як правило, вільного місця для розміщення очисного обладнання на таких підприємствах замало.

Усі нові ТЕС, будівництво яких передбачається в період до 2030 року, повинні відповідати гармонізованим з ЄС вимогам до викидів забруднювачів у

повітря. З урахуванням можливих обмежень на викиди парникових газів на рівні 2030 року та у подальшій перспективі, необхідно також передбачити їх оснащення системами уловлювання CO<sub>2</sub>, а також максимально використовувати можливості впровадження технологій виробництва електроенергії на біомасі, зокрема продуктів її газифікації, біогазі, шахтному метані і звалищному газі, що дасть значний додатковий ефект у контексті зниження викидів парникових газів.

### ***Технологічні методи зниження викидів оксидів азоту та сірки.***

Витрати на очистку газів тільки від оксидів азоту є досить дорогими. Зменшення шкідливих викидів в джерелі виникнення є значно ефективнішим та потребує менших затрат. Зниження викидів оксиду азоту та сірки можливо як на стадії проектування нових котлів, так й у процесі експлуатації діючих газомазутних котлів.

Високу ефективність та відносну технічну простоту реалізації, а також невисоку вартість мають внутрішньотопкові заходи. Ступінь зниження виходу оксидів азоту складає від 20 до 70%. Такі заходи включають: рециркуляцію димових газів, двох'ярусне розташування пальників у топці котла, реконструкцію пальників. Зменшенню утворення оксидів азоту сприяють: двохстадійне спалювання палива, подача води чи водяної пари в зону горіння; використання пальників спеціальної конструкції; відновлення окислів азоту шляхом подачі аміаку.

*Рециркуляція димових газів* здійснюється у повітропровід подачі повітря, що надходить на спалювання палива чи в пальник. Ефективність рециркуляції збільшується при підвищенні температури в зоні горіння, збільшенні коефіцієнта надлишку повітря; зменшенні температури згорання палива та підвищенні вмісту азотовмісних сполук у паливі.

Суть *двохстадійного методу* спалювання палива полягає в тому, що в первинну зону згорання подається повітря менше ніж необхідно теоретично ( $\alpha = 0,7 - 0,9$ ), в результаті чого відбувається зниження максимальної температури

та вмісту кисню в зоні та ядрі факела. Це приводить до зменшення швидкості реакції утворення оксидів азоту.

*Подача води чи водяної пари в зону згорання* приводить до зниження утворення оксидів азоту, так як водяна пара впливає на кінетику їх утворення. Така подача пари інтенсифікує реакцію згорання і забезпечує догорання оксиду вуглецю.

*Аміачно-каталітичний метод* очистки димових газів котлів енергоблоків та міських ТЕЦ широко використовувався в США, Японії та інших країнах. Ступінь відновлення оксидів азоту складає 71–95%. Недоліком цього методу є викид в атмосферу з продуктами згорання надлишкового аміаку, що підвищує токсичність продуктів згорання.

На процеси утворення сірчаного ангідриду, що проходять у топці, впливають такі ж основні фактори, які характеризують окиснення азоту. Тому практично всі методи зниження оксидів азоту приводять до зниження сірчаного ангідриду, хоча і у меншому ступені (до 30–50 % сірчаного ангідриду утвориться також за межами топки котла).

### ***Десульфуратія димових газів.***

При згорянні палива, що містить сірку, утворюються оксиди сірки у формі  $\text{SO}_2$  та  $\text{SO}_3$ . Відомі методи десульфуратії димових газів поділяються на рідкофазні (мокрі), змішані (напівсухі), газофазні (сухі). Всього відомо 80 модифікаційних способів видалення  $\text{SO}_2$  з димових газів.

*Рідкофазні методи* поділяються на *не регенераційні* (прості абсорбційні та абсорбційно-окисні) та *регенераційні* (некаталітичні та каталітичні). В свою чергу некаталітичні методи включають абсорбційно-окисні та абсорбційно-десорбційні. Каталітичні методи також включають абсорбційно-окисні методи, а також каталітичні методи.

*Змішані методи* поділяються на такі: абсорбційно-термічні, абсорбційно-адсорбційні, електронно-променеві та коронного розряду.

*Сухі методи* включають адсорбційні, високотемпературні (термічне розкладання, термічне окиснення, термічне відновлення) та каталітичні (каталітично-окисні та каталітично-відновлювальні).

Рідкофазні методи мають значне поширення при десульфурації димових газів електростанцій і дозволяють отримувати різні продукти залежно від типу технології. Наприклад, на установці потужністю 500 МВт, що працює на вугіллі, при вмісті сірки 3,5% зі ступенем вилучення сірки з газу 95%, утворюється: 90 т сульфітно-сульфатної пульпи або 45 т гіпсу, або 31 т сульфату амонію, або 23 т сірчаної кислоти, або 15 т діоксиду сірки, або 7,5 т сірки на годину.

Найбільш розповсюдженим методом видалення сірки з викидів є метод абсорбції з використанням вапна та вапняка. Він використовується на 90 % діючих установках сіркоуловлювання і на ТЕС, які працюють на вугіллі, рідкому паливі або їх суміші при наявності сірки у паливі не більше 3%. Ступінь очищення від  $\text{SO}_2$  за даним методом досягає 95–98%.

При очищенні викидів  $\text{CaCO}_3$  вступає в реакцію з  $\text{SO}_2$  з утворенням  $\text{CaSO}_4$ , а при взаємодії газу з  $\text{CaO}$  утворюється  $\text{CaSO}_3$ . Перевагами застосування вапняної суспензії є:

- ефективна абсорбція при малому співвідношенні абсорбент/газ;
- невеликі розміри абсорберів, а також капітальних витрат;
- менший обсяг твердого осаду відпрацьованого абсорбенту;
- більш низьке споживання води.

*Процес E-SOx* передбачає використання електрофільтру. У якості камери для розбризкування сорбенту використовується простір одного з електричних полів електрофільтру. Вапняна суспензія інжектуються в об'єм, створений після видалення першого поля. Діоксид сірки зв'язується вапном, що міститься в краплях цієї суспензії. Краплі висушуються, а сухі частки осідають на полях електрофільтру.

*Метод LIDS* комбінує технологію, що включає модифікацію пальників, введення вапна в топку і зволоження потоку димових газів.

*Процес Semi - Dry* являє собою поєднання напівсухого абсорбційного методу з застосуванням вапняку і адсорбційного методу з використанням в якості сорбенту активованого вугілля. Відмінною рисою даного процесу є те, що з димових газів поряд з SO<sub>x</sub> вловлюють сполуки ртуті, хлору, фтору і діоксини.

*NID процес* ґрунтується на абсорбції SO<sub>2</sub> сухим реагентом, що містить вапно (CaO) або сухе гашене вапно Ca(OH)<sub>2</sub>. Може бути використаний будь-який з цих реагентів. В NID - технології також може бути використана зола з кількома відсотками вмісту вологи.

Крім розглянутих методів вилучення з викидів SO<sub>2</sub>, застосовується абсорбція сполуками амонію (NH<sub>4</sub>OH и (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>), натрію ( NaOH, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> ).

### ***Зменшення викидів оксидів вуглецю.***

Ринок технологій уловлювання CO<sub>2</sub> тільки розвивається, по всьому світу діють 22 проекти з використанням цих технологій, 14 проектів чекають старту.

У 2015 р. обсяг світового ринку уловлювання CO<sub>2</sub> в номінальному вираженні склав 61,2 кілотонни. За прогнозом, ймовірний термін максимального прояву технологічного тренда: 2030–2040 рр.

Виділяють такі основні методи очищення викидів від CO, що відходять від котлоагрегатів ТЕС: адсорбція, абсорбція, каталітичні, термокatalітичні та термічні методи очистки. Перевагами адсорбції є простота роботи та апаратного оформлення, висока селективність. До недоліків цього методу відносять: неможливість очищення запиленних газів та циклічність. Абсорбція має такі переваги як вловлювання, крім CO, також і твердих часток, простота обладнання. Недоліки методу: утворення стоків, громіздкість обладнання і енергоємність. Перевагами каталітичного методу є ведення процесу при відносно невисоких температурах. Суттєвим недоліком такої очистки є отруєння багатьох каталізаторів NO<sub>x</sub> та SO<sub>x</sub>. Термічні методи дозволяють

провести з високою ефективністю окиснення CO до CO<sub>2</sub>. Недоліки – високі температури (750 – 1200° C) та великі енерговитрати.

Зменшення надходження CO<sub>2</sub> у довкілля передбачає уловлювання, транспортування і зберігання. Етап уловлювання пов'язаний з відділенням CO<sub>2</sub> від інших газоподібних продуктів. Для процесів спалювання палива, наприклад в енергоустановках, можуть застосовуватися технології сепарації для уловлювання CO<sub>2</sub> після згорання або декарбонізації палива до спалювання. Етап транспортування може бути потрібним для доставки уловленого CO<sub>2</sub> у відповідне місце зберігання, розташоване на певній відстані від джерела CO<sub>2</sub>. В цілях спрощення як транспортування, так і зберігання CO<sub>2</sub> уловлений газ, як правило, піддається компресії до високої щільності в установці для уловлювання. Потенційні методи зберігання включають закачування в підземні геологічні формації, в океан на великі глибини або промислову фіксацію в неорганічних карбонатах. Невеликі об'єми уловленого CO<sub>2</sub> можуть також використовуватися і зберігатися у виготовленій продукції.

Системи уловлювання *після спалювання* відокремлюють CO<sub>2</sub> від димових газів, що утворюються в повітрі в результаті спалювання первинного палива. У цих системах зазвичай використовується рідкий розчинник для захвату невеликої долі CO<sub>2</sub>, присутнього в потоці димового газу, в якому головною складовою є азот (з повітря). У сучасній енергоустановці, що працює на вугільному пилу або енергоустановці з комбінованим циклом природного газу, в системах уловлювання, які існують в даний час, після спалювання зазвичай застосовується органічний розчинник (моноетаноламін).

У системах *уловлювання до спалювання* здійснюється обробка первинного палива в реакторі з потоком, насиченим повітрям або киснем, для створення суміші, що складається головним чином з оксиду вуглецю і водню («синтетичний газ»). Потім суміш водню і CO<sub>2</sub> може бути розділена на газовий потік CO<sub>2</sub> і потік водню. Уловлювання CO<sub>2</sub> до спалювання буде використовуватись в енергоустановках, в яких застосовується технологія комбінованого циклу комплексної газифікації.

У системах спалювання із збагаченням палива киснем замість повітря для спалювання первинного палива використовується кисень для одержання димового газу, який складається головним чином з водяної пари і  $\text{CO}_2$ . Завдяки цьому димовий газ характеризується високими концентраціями  $\text{CO}_2$  (більше 80 % за об'ємом). Потім водяна пара видаляється за допомогою охолодження і компресії газового потоку.

Активне застосування традиційних методів виділення  $\text{CO}_2$  з димових газів стримується значною енерго- і ресурсомісткістю та іншими факторами. Перспективним для вугільних ТЕС є застосування хімічної сорбції оксиду вуглецю вапняком або доломітом.

### ***Золо- пилоуловлювання на ТЕС.***

Для уловлювання пилу та золи на підприємствах теплової енергетики застосовують сухі та мокрі методи. Пилувугільні ТЕС в Україні оснащені електрофільтрами з ефективністю золоуловлювання 92 – 99 %, рукавними фільтрами з ефективністю очищення викиду до 99%, мокрими золоуловлювачами з ефективністю очищення викиду (труби Вентурі зі скруберами) 92 – 96 %, циклонами з ефективністю очищення викиду  $\leq 90\%$ .

Найбільш розповсюдженими очисними апаратами на вітчизняних ТЕС є *електрофільтри*. Для їх ефективної роботи необхідно забезпечення низької швидкості газового потоку, оптимального режиму струшування електродів, відсутності вторинного виносу і т.д. З урахуванням цього реальне значення ефективності уловлювання пилу складає 90–98%. Електрофільтри встановлюють для тонкого очищення викидів на котлоагрегатах великої потужності (300 МВт та більше). Сучасними електрофільтрами, які рекомендуються для використання у енергетичній сфері, є фільтри типу ЕГУ.

*Мокрі золоуловлювачі з трубами Вентурі* встановлюють за котлоагрегатами середньої паропродуктивності. Такі апарати мають невеликі витрати води. Умовою їх використання є недопущення відкладень на пристроях

апарату, що обумовлені особливим складом золи, яка утворюється при згорянні палива.

*Батарейні циклони* застосовуються у випадку експлуатації котлів малої паропроодуктивності та при використанні малозольного твердого палива. Такі циклони можуть встановлюватись послідовно один до одного, якщо концентрація золи у викиді досить значна. Схеми з батарейними циклонами доповнюються електрофільтрами. Використовуються циклони типу ЦБУ-М, БЦУ та ін., що забезпечують уловлювання золи з середньою ефективністю 85 – 90%.

Широко застосовуваними у закордонній практиці для очищення газів, які викидаються ТЕС, є рукавні фільтри, що мають високі техніко-економічні показники роботи ( $\eta=99,9\%$ ). В останній час в Україні використовуються рукавні фільтри нового покоління. Такі фільтри дозволяють проводити очищення газів від дрібнодисперсної фракції леткої золи і від деяких хімічних компонентів, зокрема, від оксидів сірки. Температурна стійкість тканин рукавів, що використовуються в рукавних фільтрах для очищення газів в теплоенергетиці, повинна бути не менше  $280^{\circ}\text{C}$ .

На ТЕС для уловлювання пилу вугільного концентрату можуть використовуватись мультициклони типу ПБТ, БТУ-М, а для уловлювання пилу з вмістом неорганічного пилу ( $20-70\% \text{SiO}_2$ ) – труба Вентурі з краплеуловлювачем.

#### **10.2.2. Стічні води електростанцій та їх очищення**

Теплові електростанції чинять значний вплив на природні водні об'єкти, який пов'язується із водозабором та скидом стічних вод. При цьому до стічної води ТЕС відносять любий потік води, який виводиться із циклу підприємства. Зі стічними водами теплової електростанції щорічно видаляється 66 т органічних речовин, 82 т сірчаної кислоти, 26 т хлоридів, 41 т фосфатів і майже 500 т зважених часток.

Біля 90% води витрачається у системах охолодження конденсаторів турбін, охолоджувачах повітря та мастил, а також у роботі механізмів, які рухаються. Потреба теплової електростанції у водах систем охолодження має надзвичайно великі обсяги. Так, наприклад, на охолодження теплообмінного обладнання Ладижинської ТЕС забирається річкова вода з водосховища обсягом 1,955 млрд м<sup>3</sup>/рік, з яких 1,170 млрд м<sup>3</sup>/рік повторно скидаються у водне джерело.

Теплообмінні води мають невелике хімічне забруднення, тому їх скид у водойми не приводить до помітного хімічного забруднення природних вод. Разом з тим, нагріті води перед їх спуском у водний об'єкт потребують охолодження. Відповідно нормативів охолодження проводиться до температури, при якій літня температура води у водосховищі в результаті спуску вод не підвищується більш ніж на 3<sup>0</sup>С у порівнянні з середньомісячною температурою найтеплішого місяця року. Для зменшення температури скидних вод використовуються охолоджувальні пристрої.

У процесі використання води біля 2–3% її обсягу втрачається безповоротно. Крім вод систем охолодження, на ТЕС утворюється біля 7% інших стічних вод. До них відносяться:

- скидні води систем гідрозоловідведення (ГЗВ);
- регенераційні та шламові води від установок водоочищення;
- відпрацьовані розчини хімічних промивок теплосилового обладнання або його консервації;
- стічні води, забруднені нафтопродуктами та розчинами, які утворюються при змиві зовнішніх поверхонь нагріву.

Склад стічних вод досить різний та визначається типом ТЕС, видом палива, складом вихідної води, способом водопідготовки та ін. Найбільшу негативну дію на водні об'єкти чинять води ГЗВ та води, що забруднені нафтопродуктами.

*Стічні води систем гідрозоловідведення.* При спалюванні вугілля на ТЕС передбачена його механізована подача та гідравлічне

золошлаковидалення. Система ГЗВ оборотна. Пульпа насосами перекачується у золовідвал, де гідротранспортні води відокремлюються від золи і шлаку. Просвітлена вода повертається на золошлаковидалення. Крім пульпи, в систему ГЗВ можуть надходити: стоки хімводоочищення; стоки з територій мазутного та реагентного господарств і складу вугілля; стоки від охолодження підшипників насосного й вентиляційного обладнання, продувні води котлоагрегатів, а також води систем мокрого газоочищення.

Скидні води ГЗВ забруднені зваженими речовинами, мають підвищену мінералізацію та у більшості випадків підвищену лужність. Також з систем мокрого пилоуловлювання у воду можуть додатково надходити оксиди сірки, азоту, вуглецю. Крім цього, при повторному застосуванні води, в ній збільшується кількість таких речовин як ртуть, ванадій, фтор та ін. Для видалення цих та інших токсичних речовин застосовують адсорбцію чи реагентний метод.

*Стічні води установок хімводоочищення.* Для запобігання відкладень, які утворюються з домішок, що надходять у цикли електростанцій, у тому числі й з додатковою водою, вода для живлення парових котлів проходить хімводоочищення (зм'якшення). Загальна жорсткість води для котлів низького тиску повинна бути не вище 0,6 мг-екв/л, а для котлів високого тиску – до 0,03-0,06 мг-екв/л. З води вилучають механічні домішки, солі жорсткості та розчинний у воді кисень. Обробка природної води для таких цілей супроводжується утворенням стічних вод. Варіанти схем водопідготовчих установок залежать від якості вихідної води і вимог до якості додаткової води котлів.

На ТЕС (ТЕЦ) хімічна водоочистка проводиться у просвітлювачах для приготування освітленої води. Просвітлена вода у подальшому використовується в процесі приготування води на інших установках (живлення випарників, живлення тепломережі, резервній установці знесолення). Усі установки передбачають вапнування і коагуляцію води в прояснювачах, доочистку від зважених речовин на механічних фільтрах. В

залежності від вимог до очищеної води проводиться одно-, двоступеневе На-катіонування. Вода резервної установки знесолення, що призначається для компенсації втрат пари і конденсату на блоках, проходить трьохступеневе знесолення.

Для обробки води коагулянтами, вапняком використовуються прояснювачі.

Основними забруднюючими речовинами у стоках хімводоочищення є:

- завислі речовини;
- реагенти для регенерації катіонних та аніонних фільтрів;
- регенерат з вмістом іонів  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$  ;
- не зв'язані форми реагентів ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ).

Очищення стічних вод, як правило, включає три етапи: скид всіх відпрацьованих розчинів і промивних вод в усереднювач; виділення з рідини токсичних речовин: металів, з'єднань фтору, гідразину, миш'яку, що значно перевищують ГДК, з подальшим зневодненням утвореного осаду; очищення від органічних речовин і амонійних солей, нітритів, сульфідів.

Вода продувки прояснювачів обробляється в спеціальних відстійниках, фільтрах і повторно використовується після освітлення. У всіх випадках очищена вода направляється у баки повторного використання промивальних вод механічних фільтрів.

Вапняковий шлам прояснювачів використовуються для виробництва вапна, для розкислення ґрунтів, у будівництві.

Промивні води, що утворились при промиванні механічних фільтрів, надходять в лінію вихідної води (при коагуляції) чи в нижню частину кожного освітлювача (при вапнуванні).

Стічні води іонообмінної частини водопідготовчої установки є дійсними розчинами солей. Залежно від місцевих умов ці води надходять: при додержанні санітарно-гігієнічних і рибогосподарських вимог у водоймища, а також у системи гідрозоловидалення, ставки-випарники, на випарні установки,

у підземні водоносні горизонти. При необхідності для очищення вод використовують зоротний осмос, випаровування або електродіаліз.

Для раціонального використання очищених вод (при наявності на ТЕС етапу передочищення води) споруджують шламоушільнювачі, в яких проходить зневоднення шламу та виділяється технічна вода.

Зневоднення та сушка шламів здійснюється:

- седиментаційним способом до вологості 80–90% (відстоювання у відстійниках та шламонакопичувачах);
- механічне зневоднення до вологості 30–60% (центробіжне осадження у шнекових центрифугах, фільтрування у барабанних вакуум-фільтрах, на стрічкових фільтр-пресах, на центрифугах);
- термічні методи, що забезпечують зневоднення до вологості 2–20% (упарювання у випарниках, сушка у сушарках та печах циклонного типу).

Остаточне зневоднення шламового осаду (до 5–10% вологості) може досягатися при термічній сушці, для здійснення якої використовується теплова енергія відпрацьованих газів і водяної пари.

Обробку *регенераційних розчинів* можливо здійснювати хімічними, фізичними або біологічними агентами. З хімічних агентів використовують окисники, осаджувачі, газоутворювачі, іоніти тощо. До фізичної дії на стічні води з метою очищення відноситься вплив високих та низьких температур, УФ-опромінення, використання водяної пари, електричного струму.

Якщо стічна вода не відповідає умовам спуску вод у водойму, то проводиться розбавлення до норм ГДК за вмістом хлоридів. При невідповідності вимог щодо показника рН ( $\text{pH}=6,5\text{--}8,5$ ), необхідно проводити процес нейтралізації. Застосовується самонейтралізація, нейтралізація вапном, оксидом та гідроксидом магнію, карбонатами кальцію та магнію і ін.

Для *очистки стічних вод, що містять нафтопродукти*, звичайно використовують відстоювання стоків у нафтоуловлювачі, обробку води у флотаторі та доочищення на механічних фільтрах. Ефективність такої схеми складає 95%. Більшу ефективність очищення має схема, в якій флотатор

замінюється на сорбційний фільтр (адсорбер), заповнений активованим вугіллям, деревиною чи іншим адсорбентом.

Сучасна система очистки забруднених стічних вод ТЕС, що містять зважені речовини, важкі метали, нафтопродукти, передбачає оборотний цикл використання води. Схема очистки включає обробку води у електрофлотокорректорі, установці ультрафільтрації, електролізері. При реалізації такої системи очистки додатково проходить зм'якшення води, що розширює сферу застосування очищених вод.

Стічні води ТЕС, часто містять нафтопродукти, завислі речовини та інші забруднення також можуть бути очищені, наприклад, за технологією мембранного біореактора і зворотного осмосу та повернуті в оборотний цикл або на водопідготовку для повторного використання.

*Очистка вод обмивання зовнішніх поверхонь нагріву котлів та регенеративних повітропідігрівачів.* При спалюванні мазуту утворюється зола, яка налипає на поверхні нагріву котлів, повітропідігрівачів. Вона містить оксиди та інші сполуки ванадію, нікелю, натрію, кальцію, алюмінію, заліза та ін. Періодично проходить обмивка поверхні котлів та утворюються обмивні води, що містять, г/л: вільну кислоту (у перерахунку на  $H_2SO_4$ ) 4 – 5; залізо 7 – 8; нікель 0, 1 – 0,15; ванадій 0,3 – 0,8; мідь 0,02 – 0,05; зважені речовини – 0,5; сухий залишок – 32 – 45.

Знешкодження та нейтралізація обмивальних вод котлів і регенеративних повітропідігрівачів передбачає збір вод у бак-нейтралізатор, у який дозується розчин вапна. Після перемішування та відстоювання частина проясненої води (50– 60%) використовується повторно на обмивки котлів, а шлам подається для зневоднення на фільтр-преси. Утворений шлам відправляється на розфасовку і на склад. Фільтрат з фільтр-преса надходить на катіонітний фільтр для уловлювання залишків катіонів важких металів. Фільтрат катіонітних фільтрів може скидатись у водойму.

*Очищення вод, утворених при хімічній промивці та консервації обладнання.* Промивка хімічними розчинами використовується для очищення

від відкладень внутрішніх поверхонь котлів та іншого обладнання. Промивки здійснюються в ході експлуатації котлів, підготовки до експлуатації нового обладнання або обладнання, що пройшло ремонт, та консервації обладнання. Хімічна промивка включає промивку технічною водою; знежирювання внутрішніх поверхонь лугами та ПАВ; хімічну очистку відповідним розчином; пасивацію очищених поверхонь; витіснення розчину пасивації знесоленою водою. У таких операціях утворюються сульфати та хлориди кальцію, магнію, натрію, солі заліза, цинку, фтористі сполуки, а також гідразин (діамід), нітрити, сульфіти, солі амонію.

Варіанти очищення забруднених вод залежать від типу палива, яке використовується на ТЕС.

Кислі та лужні розчини від хімічних промивок збираються у баках-нейтралізаторах, а потім поступають у бак корекції рН та осадження цинку, заліза, міді. Донеіралізація і осадження заліза здійснюється підлугуванням вапном до рН 10–12. Після осадження шламу та прояснення вода відстоюється, а потім видаляється у шламовідвал. Для очищення вод від міді та цинку після видалення гідроксиду заліза у розчин добавляється сульфід натрію.

Води промивки та консервації, що містять нітрити, знезаражують кислими промивними розчинами або розчином кислоти. При цьому виділяють оксиди азоту.

Для видалення із вод гідразина та аміака використовується хлорне вапно. Аміак також можливо нейтралізувати взаємодією з вуглекислотою повітря при аерації розчину у баці-нейтралізаторі або у бака для корекції рН.

Освітлена вода, що утворюється після знешкодження промивних вод і розчинів консервування, проходить обробку до рН = 6,5–8,5 та повторно використовується на ТЕС.

Стічні води, які містять фтор, оброблюються вапном та сірчанокислим глиноземом.

Освітлена вода з бака для корекції рН, що містить допустимі залишки заліза сірчаноокислого, гідразину, хлору активного, направляється на біохімічне очищення. На практиці застосовується також спільне очищення освітленої води з побутовими стоками на комунальних очисних спорудах.

### **10.2.3 Утилізація золошлакових відходів ТЕС**

Золошлакові відходи (ЗШВ), які утворюються на ТЕС в результаті спалювання вугілля, горючих сланців, торфу відносяться до найбільш багатотонажних промислових відходів. Щорічно у світовому масштабі утворюється близько 700 млн т ЗШВ. В Україні ТЕС, ТЕЦ та котельні, що працюють на твердому паливі, на протязі року продукують близько 30 млн. т золошлакових відходів. Вихід ЗШВ залежить від виду палива і складає: в бурому вугіллі 10–15%, в кам'яному 3–40%, в горючих сланцях 50–80%, в мазуті 0,15–0,20%. Золошлакові відходи займають значні площі земель та потребують витрат на їх утримання. Разом з тим, ЗШВ є цінним вторинним ресурсом. Так, в США, утилізують 20% золи ТЕС, у Франції – 62%, у Німеччині – до 76%, об'єм використання золошлакових відходів у нашій країні не перевищує 10%.

Летка зола (зола виносу) та шлак утворюються при згорянні твердого палива при температурі 1200 – 1700°C. Хіміко-мінералогічний склад ЗШВ відповідає складу мінеральної частини палива, який різниться за видом родовища видобування, способу спалювання і, відповідно, є різним для електростанцій. Основні компоненти ЗШВ – оксиди кремнію та алюмінію. У відходах також міститься оксид заліза і оксид кальцію та у значно меншій кількості MgO, K<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub>, MnO, TiO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, BaO і ін. Ефективна питома активність радіонуклідів золошлакових матеріалів – допустима (175 Бк/кг). ЗШВ характеризуються мілкою дисперсністю, розмір часток золи складає 0,005–0,1 мм. Зола виносу більш однорідна за складом і властивостями порівняно із золою відвалу.

Шлаки відносяться до основних видів відходів, що утворюються при кусковому спалюванні палива. При пилоподібному спалюванні шлаки становлять 10–25% від маси утвореної золи.

Шлаки утворюються в результаті спікання окремих часток на колосниковій решітці при температурі понад 1000°C або при охолодженні розплавленої мінеральної частини палива при температурі більше 1300°C. Шлаки, утворені при більш високих температурах ніж зола, практично не містять незгоріле паливо і мають більшу однорідність.

У теперішній час є досить багато наукових та практичних наробок використання ЗШВ. Найбільш вагомими пропозиціями використання відходів у галузі будівельних матеріалів є застосування відходів:

- у виробництві портландцементного клінкеру;
- при виготовленні легких, важких та жаростійких бетонів;
- у технології виготовлення будівельних розчинів;
- у виробництві силікатної та глиняної цегли;
- для виробництва шлакової пемзи та вати;
- у дорожньому будівництві;
- для одержання аморфного високочистого діоксиду кремнію.

Розроблено й апробовано в напівпромислових умовах принципову схему переробки золошлакових відходів і повної їхньої утилізації. В результаті такої переробки з 100 тис.т відходів можна отримати 10–12 тис.т вторинного вугілля, 1,5–2 тис.т залізорудного концентрату, 20–60 кг золота, 60–80 тис.т будівельного матеріалу.

Зола виносу проявляє високі адсорбційні властивості. Дослідження показують, що при застосуванні такого адсорбенту ступені вилучення важких металів складають, % мас.: Fe – 97,6; Cu – 98,3; Cr<sup>3+</sup> – 98,7; Zn – 92,4; Mn – 7,2; Pb – 96,3. Високий рівень очищення спостерігається і у випадку очищення промислових стічних вод.

Зола виносу ТЕС проявляє властивості зневоднюючого агенту при зневодненні сирих та зброджених осадів стічних вод, а також залишкового

активного мулу. Також зола виносу збільшує ступінь зневоднення утворених осадів і при реагентному очищенні стічних вод.

Традиційно зола виносу може застосовуватись для фіксації комунальних осадів, як наповнювач у складі лакофарбних матеріалів. У великій кількості зола використовується в сільському господарстві для підвищення врожаю.

## **11. Виробництво електричної енергії на атомних електростанціях.**

*АЕС* – ядерна установка, на якій для виробництва енергії використовується ядерний реактор та комплекс необхідних систем, пристроїв, обладнання і споруд. В установці протікає управляема ланцюгова реакція з виділенням тепла.

По своїй суті АЕС є тепловою станцією, так як для одержання електроенергії на ній застосовується перетворення теплової енергії.

Теплова енергія генерується у реакторі, далі при розширенні у турбіні пари вона перетворюється у механічну. Остання обертає електричний генератор, який виробляє електроенергію. Робочим тілом у цьому процесі є водяна пара.

У якості теплоносія, що відводить тепло з активної зони, у реакторах на теплових нейтронах використовують воду, водяну пару, органічні речовини,  $\text{CO}_2$ . У реакторах на швидких нейтронах теплоносієм є рідкий метал (натрій) та газ (водна пара, гелій). Рідина, яка часто застосовується у якості теплоносія, одночасно може бути і як теплоносієм, і як сповільнювач.

В залежності від кількості етапів передачі теплової енергії від реактора до турбіни, відрізняють одно-, дво- та триконтурні АЕС.

Сучасна ядерна енергетика базується на використанні енергії, що виділяється при поділу природного ізотопу урану-235 або ізотопів, які одержують штучним способом (уран-233 або плутоній-239).

Природний уран містить 99,28% урану-238, 0,71% урану-235 та 0,006% урану-233. Уран-238 та торій використовують для одержання штучним шляхом речовин, що поділяються. Це ядерна сировина.

Реакція поділу важких елементів передбачає, що при приєднанні нейтрона до ядра атома утворюється нестійке ядро, яке розпадається на два уламки. Один з них – ядра більш легких елементів, що випускають два або три новий нейтронів, що викликають поділ наступних ядер. По енергії таких нейтронів відрізняють реактори на теплових та швидких нейтронах. У теперішній час більш поширені реактори першого типу.

Велике значення у реакторах на теплових нейтронах має процес уповільнення нейтронів. У активній зоні реактора при поділі ядер утворюються швидкі нейтрони, які мають високу швидкість та енергію. Для перетворення їх на теплові нейтрони зі значно меншою енергією необхідно зменшити їх швидкість. Для цього до складу активної зони реактора вводиться сповільнювач. У найбільшій мірі це робить звичайна вода, так як маси атомів водню та нейтрона однакові. Також використовується графіт, важка вода ( $D_2O$ ) та ін. У реакторах, в яких використовуються швидкі нейтрони великих енергій, сповільнювач відсутній.

Для запобігання витоку нейтронів із активної зони реактора у навколишнє середовище застосовується відбивач нейтронів. Нейтрони, які вилетіли з активної зони, стикаються з ядрами відбивача та повертаються у цю зону. У реакторах, що працюють на теплових нейтронах, відбивач виготовляється з тих же матеріалів, що і сповільнювач. У реакторах, які працюють на швидких нейтронах, як відбивач, використовуються матеріали, що при взаємодії з нейтронами утворюють подільні нукліди.

Зміна потужності реактора здійснюється за допомогою дії на величину потоку нейтронів. Для цього в реакторі є регулювальні органи, що переміщуються в активній зоні. Їх підрозділяють на три види: органи компенсації надмірної реактивності (компенсуючі стрижні і вигоряючі поглиначі), органи автоматичного регулювання (автоматичної підтримки

заданої потужності) і органи аварійного захисту (швидкого припинення процесу поділу ядер при перевищенні допустимих параметрів).

Для контролю роботи реактора в активній зоні і біля неї поміщаються детектори, що вимірюють параметри процесу. За даними цих вимірювань визначається режим роботи реактора і здійснюється управління його роботою.

У загальному випадку ядерний реактор складається з ядерного палива, сповільнювача і відбивача нейтронів, теплоносія, регулювальних органів (стрижнів, що містять матеріали, які ефективно поглинають нейтрони), детекторів контролю, корпусу, внутрішньореакторних конструкцій, біологічного захисту. Активна зона реактора – це центральна частина реактора, яка містить паливо, сповільнювач, регулювальні органи і частину детекторів контролю. Через активну зону прокачується теплоносій.

У гомогенному реакторі ядерне паливо разом із сповільнювачем і теплоносієм являє собою однорідну (гомогенну) суміш у вигляді розчинів або розплавів, яка рівномірно розподілена в об'ємі активної зони і циркулює в контурі реакторної установки.

У гетерогенному реакторі паливо розміщене у сповільнювачі у вигляді окремих елементів, розташованих в активній зоні. Ці елементи називаються тепловидільними елементами (ТВЕЛами) і мають різну форму і розміри.

Основні елементи ядерного реактора наведено на рис. 11.1.

Між ТВЕЛами знаходиться сповільнювач, а через активну зону прокачується теплоносій, який охолоджує тепловиділяючі елементи (здійснює теплознімання з активної зони).

Тепловидільні елементи збираються в організовані пучки. В одній тепловидільній збірці знаходиться 150–350 ТВЕЛів, в активну зону реактора поміщається 200–450 тепловидільних збірок. Така збірка працює в реакторі при високій температурі та в середовищі, що знаходиться під впливом радіації на протязі 4–5 років. Пучок ТВЕЛів досягає довжини 2,5–3,5 м, яка приблизно відповідає висоті активної зони, та має діаметр 30–40 см.

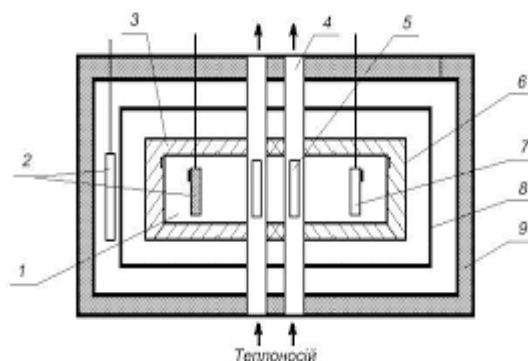


Рис.11.1 – Принципова схема ядерного реактора гетерогенного типу на теплових нейтронах

1 – сповільнювач нейтронів; 2 – детектори контролю; 3 – відбивач нейтронів; 4 – теплоносій; 5 – ядерне паливо (твел); 6 – зовнішня межа активної зони; 7 – регулювальний стрижень; 8 – корпус реактора; 9 – біологічний захист.

У більшості сучасних реакторів ТВЕЛ являє собою тонкостінну трубку з різних сплавів цирконію, в якій знаходяться «таблетки» сполук урану (найчастіше діоксиду урану) різного ступеня збагачення, з заглушками на кінцях, які забезпечують герметичність ТВЕЛу і його кріплення у тепловиділяючій зборці.

Реактор має бетонний біологічний захист від радіоактивних променів. Також захист здійснює і відбивач та стінки корпусу реактора. Крім того, між корпусом та біологічним захистом є шар теплового захисту.

Одноконтурні та двоконтурні схеми АЕС застосовують з реакторами на теплових нейтронах, а триконтурні – на АЕС з реакторами на швидких нейтронах.

У одноконтурній схемі пар виробляється безпосередньо в реакторі і надходить в парову турбіну, вал якої з'єднаний з валом генератора. Відпрацьований в турбіні пар конденсується в конденсаторі, і конденсат циркуляційним насосом подається в реактор. Таким чином, в цій схемі теплоносій є одночасно і робочим тілом. В даних схемах все обладнання працює в радіаційно-активних умовах, що ускладнює його експлуатацію.

На рис.11.2 приведена схема АЕС, що має два контури.

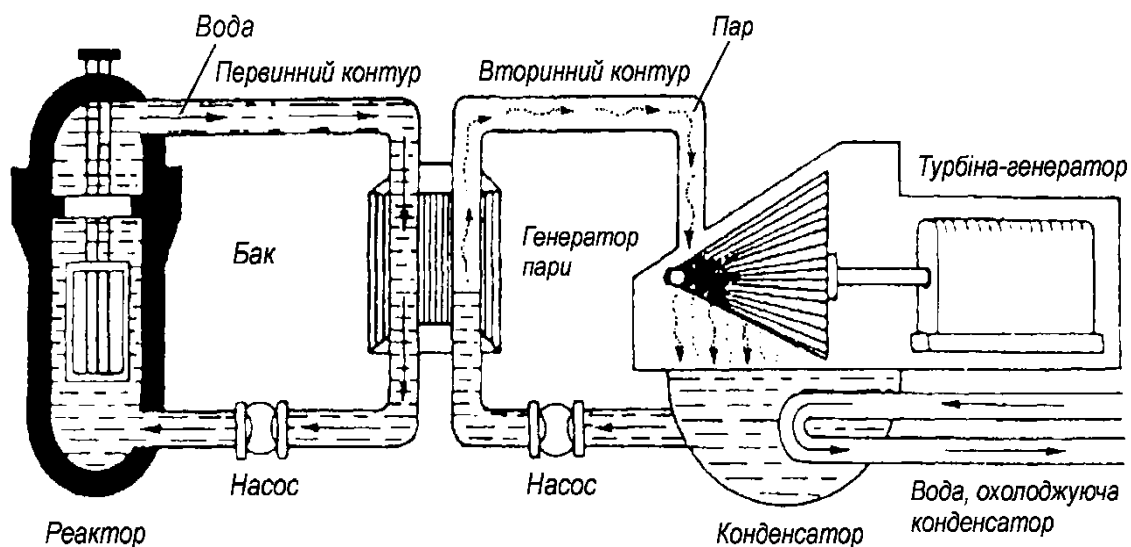


Рис.11.2 – Технологічна схема двоконтурної атомної електростанції

У двоконтурній схемі радіоактивний контур теплоносія включає не все обладнання станції, а лише його частину. Теплоносій і робоче тіло рухаються по самостійним контурам, а загальним елементом є парогенератор (теплообмінник). Нагрітий в реакторі теплоносій надходить в парогенератор, віддає теплоту робочому тілу і циркуляційним насосом знову повертається в реактор. Отриманий в парогенераторі пар подається в турбіну, здійснює в ній роботу, потім конденсується в конденсаторі, а конденсат живильним насосом подається в парогенератор.

У трьохконтурних схемах радіоактивний теплоносій першого контуру (рідкий натрій) з реактора направляється в проміжний теплообмінник, віддає свою теплоту нерадіоактивному теплоносію другого, проміжного, контуру і циркуляційним насосом повертається в реактор. Теплоносієм другого контуру також є натрій, який віддає у парогенераторі теплоту робочого тіла воді. Отриманий при цьому пар надходить в парову турбіну. Другий проміжний контур виключає можливу взаємодію радіоактивного натрію з водою при появі нещільностей в теплообмінних стінках парогенератора. Триконтурні АЕС за капітальними витратами значно дорожче ніж теплові.

У теперішній час використовуються ядерні реактори наступних основних типів:

- РБМК (реактор великої потужності, каналний) – реактор на теплових нейтронах, водо-графітовий;
- ВВЕР (водо-водяний енергетичний реактор) – реактор на теплових нейтронах, корпусного типу;
- БН (швидкі нейтрони) – реактор на швидких нейтронах з рідкометалевим натрієвим теплоносієм.

Найбільш освоєними є водо-водяні реактори, в яких сповільнювачем нейтронів є звичайна вода.

Атомні станції є більш екологічними у порівнянні з тепловими, так як при їх функціонуванні не утворюються тверді частки, оксиди сірки та азоту, вуглекислий газ. Це дозволяє знизити парниковий ефект при виробництві електроенергії. Водночас теплове забруднення довкілля таких станцій перевищує теплові.

Слід зазначити, що уранового палива у ядерному реакторі витрачається всього 3–4% від того об'єму, який знаходиться у тепловидільних збірках. Решта (97–96%) – залишається у відпрацьованому ядерному паливі. Таким чином, відпрацьоване паливо одночасно є і відходом, і цінним енергетичним ресурсом. Відпрацьовані відходи АЕС підлягають захороненню у спеціальних могильниках, які виключають можливість впливу на людину.

## **12. Відроджувальна енергетика**

### **12.1. Вітрова енергетика**

Альтернативою викопному паливу є відроджувані джерела енергії, до яких відносяться: енергія вітру, сонячна радіація, енергія річок, припливів і океанських хвиль, енергія біомаси та органічних відходів.

Енергетична криза 1973 р., що супроводжувалась підвищенням цін на нафтопродукти, сприяла розвитку вітроенергетики. Вітроустановки

потужністю від декількох кіловатів до мегаватів виробляються в Європі, США й інших частинах світу. Велика частина таких установок використовується для виробництва електроенергії як у складі енергосистеми, так і автономно.

Вітроенергетика базується на використанні кінетичної енергії вітру, який є непрямою формою сонячної енергії. Вітроелектростанція (ВЕС) дозволяє за допомогою вітрової турбіни механічну енергію вітру перетворити на електричну.

Найважливішою характеристикою, що визначає енергетичну цінність вітру, є його швидкість. Енергетичні установки зазвичай використовують вітер у приземному шарі на висоті до 50–70 м, рідше – до 100–150 м від поверхні Землі.

Вітровий потенціал різних районів України визначається національним вітроенергетичним кадастром, який включає показники швидкості вітру. Середньорічна швидкість вітру в приземному шарі на території України досить низька – 4,3 м/с. Більшість вітроагрегатів починають виробляти промисловий струм починаючи зі швидкості вітру 5 м/с. Але у теперішній час пристрої можуть генерувати енергію і при слабкому вітрі – від 4 м/с. Якщо враховувати, що вони можуть використати енергію вітру до висоти 50 м, то енергетичний потенціал на території України складає велетенську величину 330 млрд кВт і перевищує встановлену потужність електростанцій України у 6 тисяч разів.

Найефективніше енергія вітру використовується в морських і прибережних районах, а також в гірських і пересічених місцевостях.

Потужність вітрогенератора дуже різниться і становить від 5 кВт до 4500 кВт. При цьому потужність вітроенергетичної установки залежить від площі турбін і, відповідно, від розміру лопатей.

В Україні експлуатуються вітропарки потужністю, що перевищує 706 МВт: Ботієвська ВЕС (с. Ботієво, Запорізька область, 2012 р.), Дмитрівська ВЕС (с. Дмитрівка, Миколаївська область, 2011 р.), ВЕС Старий Самбір – 2 (м. Старий Самбір, Львівська область, 2017 р.), ВЕС Старий Самбір – 1 (м. Старий Самбір, Львівська область, 2015 р.), Тузлівська ВЕС (с. Тузли, Миколаївська

область, 2012 р.), ВЕС Берегова (с. Тарасівка, Херсонська область, 2014 р.). Планується до вводу в експлуатацію Приморська ВЕС (с. Борисівка, Запорізька область).

Серед відновлюваних джерел енергії у 2017 році вітрові електростанції України виробили 52,1% електроенергії.

Виділяють три класи вітроелектричних установок в залежності від призначення і умов їх роботи по відношенню до енергосистеми, до якої вони підключені:

Клас А – автономна ВЕУ. Потужність ВЕУ не перевищує 5 кВт. Така установка використовується для освітлення, електроживлення, засобів зв'язку та ін.;

Клас В – паралельна робота вітроенергетичної установки (ВЕУ) і дизельгенератора сумарної потужності. Використовується для локальних енергосистем у віддалених областях;

Клас С – мережний режим роботи в потужній енергосистемі. ВЕУ підключена до системи більшої потужності і працює паралельно з цією системою.

Функціональна схема вітрової енергетичної установки включає: вітровий двигун, електрогенератор, механічну передачу, пристрої автоматичного регулювання та управління, допоміжні пристрої. Ротор вітрогенератора може мати мультиплікатор, який призначений для прискорення обертання осі. Установка обладнується механізмом розвороту вісі обертання за вітром (віндроза).

Для виключення перебоїв в електропостачанні ВЕУ у періоди безвітря використовуються акумулятори електричної енергії або виконується запаралелення з електроенергетичним обладнанням інших типів.

Найчастіше на ВЕС застосовується трилопатеве вітроколесо з горизонтальним розташуванням вісі ротора.

Конструктивна схема вітроенергетичного агрегату представлена на рис.12.1.

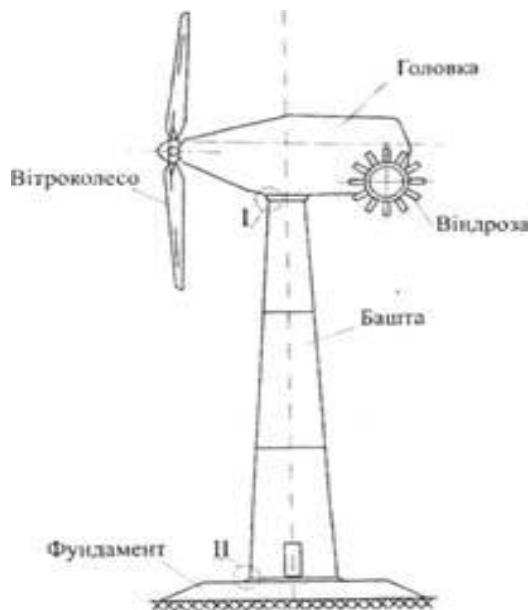


Рис.12.1 – Конструктивна схема вітроенергетичного агрегату

Вітрові потоки приводять в рух лопаті вітрогенератора, проходять через турбіну і остання починає обертатися. При цьому енергія, яка утворюється на валу турбіни, пропорційна вітровому потоку, тобто з ростом вітрової енергії збільшується і механічна, що виробляється турбіною. Далі енергія передається генератору, який перетворює механічну енергію в електричну.

У таблиці 12.1 приведені показники вітроагрегатів, що рекомендовані до впровадження.

*Екологічні аспекти вітроенергетики.* У загальному випадку вітроенергетика дозволяє зменшити ступінь негативного впливу на довкілля. Це проявляється у наступних характеристиках:

- зменшується обсяг використання викопного палива, що є джерелом забруднення атмосфери оксидом вуглецю, який пов'язується з глобальним потеплінням;
- зберігаються природні енергетичні ресурси як національне багатство. Робота вітрогенератора потужністю 1 МВт за 20 років дозволяє заощадити приблизно 29 тис. тонн вугілля або 92 тис. барелів нафти;
- зменшується вплив техногенної діяльності на елементи довкілля при видобуванні мінеральних енергетичних ресурсів, спорудженні шахт,

Таблиця 12.1 – Показники вітроагрегатів, рекомендованих до впровадження.

| Зональна середньорічна швидкість вітру, м/с | Діапазон робочих швидкостей вітру ВЕУ, м/с | Розрахункова швидкість вітру, що відповідає номінальній потужності, м/с | Орієнтована частка використання ВЕУ, % |
|---------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| До 4,5                                      | 3–20                                       | 8                                                                       | 40                                     |
| 4,5–5,5                                     | 4–24                                       | 9                                                                       | 30                                     |
| понад 5,5                                   | 4–24                                       | 10–12                                                                   | 30                                     |

прокладанні трубопровідних систем для передачі газу, нафти та продуктів її переробки;

– зменшується утворення кислотних дощів, смогів, надходження у довкілля важких металів, а також брудної води при бурінні свердловин та видобуванні сланцевого газу та ін. Щорічно застосування вітряного генератора запобігає потраплянню в атмосферу 1800 т CO<sub>2</sub>, 9 т SO<sub>2</sub>, 4 т оксидів азоту.

У перспективі до 2050 року світова вітроенергетика дозволить скоротити річне забруднення атмосферного повітря вуглекислим газом на 1,5 мільярда тонн;

– зменшується теплове забруднення води від скидів атомних і теплових електростанцій;

– відсутність великої потреби у воді або економія водних ресурсів.

Вода на вітроелектростанціях використовується в основному для промивки лопатей. Споживання води на ВЕС в 475 разів менше ніж на АЕС, близько в 400 разів менше ніж на вугільних станціях і у 275 разів менше ніж станціях на газі.

Водночас використання вітроенергетики має певні проблеми технічного та екологічного характеру. Так як повітряні маси переміщуються нерівномірно та з різною швидкістю, то це приводить до того, що генератор буде працювати

також нерівномірно. Потужність та струм генератора мають максимальне значення на протязі обмеженого часу, в інші години він або працює не на повну потужність, або взагалі простоє. Для вирівнювання віддачі струму застосовують акумулятори, що не дуже ефективно. Зважаючи на це, ВЕС можуть або доповнювати основні потужності, або ж стати джерелом електрики у віддалених чи ізольованих місцях.

Незважаючи на екологічність вітроенергетики, ВЕС здійснюють певний негативний вплив на довкілля, частина якого ще не повністю з'ясована.

Вплив вітрових електростанцій на середовище існування людини визначається за такими напрямками: *потреба в землі та ерозія ґрунту; візуальне вторгнення в ландшафт; загроза загибелі птахів, тварин, людей; шум; вплив на роботу теле-, радіо і локаційних пристроїв; перешкоди повітряному транспорту; потреба у воді.*

*Потреба в землі та ерозія ґрунту.* Через невисоку потужність вітряків, вітроелектростанції вимагають значних територій для розміщення вітрових установок. Для великих ВЕСУ можливо вибирати землі, непридатні для господарської діяльності. Якщо ж під ВЕС займаються родючі землі, то вони можуть використовуватися для рослинництва і тваринництва. У цьому полягає докорінна відмінність землевідведення під ВЕС від землевідведення під теплові станції та гідроелектростанції.

Ерозія ґрунту може виникнути при руйнуванні верхнього ґрунтового шару при спорудженні фундаменту вітрових електричних установок (ВЕСУ), проведенні будівельно-монтажних робіт, будівництві доріг. Тому при проектуванні ВЕС слід проводити оцінку небезпеки ерозії ґрунту і за наявності такої необхідно передбачати відповідні заходи.

*Візуальне вторгнення в ландшафт.* Поява вітроустановок в звичному природному ландшафті порушує зорову пам'ять жителів і викликає у деяких з них протести. Тому рекомендується застосовувати такі підходи до проектування ВЕС:

– виконувати комплектацію ВЕС установками одного типу і розміру, що дає можливість встановлювати ВЕУ через однакові проміжки, задовольняючи тим самим основні естетичні запити;

– проведення комп'ютерного моделювання з різними варіантами розташування вітроустановок до початку будівництва дозволяє вибрати варіант найбільш приємний для огляду.

*Загроза загибелі птахів.* Вітрові електростанції, як вертикальні структури з рухомими елементами, представляють певний ризик для птахів. Виділяється: фізичний вплив ВЕУ при зіткненні з турбінами, лопатями і вежами; порушення середовища проживання; порушення маршруту міграції птахів.

Дослідження показують, що смертність птахів в результаті зіткнення з ВЕС незначна порівняно зі смертністю від іншої діяльності людини. Тому потрібно не розташовувати вітростанції на шляху міграції перелітних птахів, а також місць полювання хижих птахів.

*Шум.* Акустичний і звуковий супровід роботи вітроенергетичних установок є головним негативним фактором ВЕС.

Основною складовою шуму таких ВЕУ є аеродинамічний шум, вироблений лопатями вітроустановок. Його низькочастотні складові (1–5 Гц) були проблемою для деяких ранніх проектів вітроустановок, оскільки вони негативно позначалися на живих організмах. Аеродинамічний шум може бути знижений відповідним профілюванням лопатей, вибором швидкості обертання вітроколеса і механізму його орієнтації на вітер.

Шумність малих ВЕУ більше ніж вітротурбін. В даний час не існує єдиних стандартів і вимог, що регламентують шум ВЕС і в світовій практиці діють різні документи, що визначають методики вимірювання шумових характеристик ВЕУ для їх сертифікації.

*Вплив на роботу радіо, локаційних і телевізійних пристроїв.* До недавнього часу вважалося, що перешкоди від ВЕУ радіо– і телевізійного прийому незначні, якщо уникати їх будівництва в одну лінію у напрямку до передавальної станції або розташовувати на достатній відстані. Якщо передача

теле— і радіосигналів здійснюється через супутник, проблема відпадає автоматично.

Перешкоди, викликані відображенням електромагнітних хвиль лопатями вітрових турбін, можуть позначатися на якості телевізійних і мікрохвильових радіопередач, а також на роботі різних навігаційних систем у районі розміщення вітрового парку ВЕС на відстані декількох кілометрів. Також ВЕУ стає перешкодою для сигналів військових радарів

Для зменшення впливу ВЕУ на радіо і телевізійний зв'язок необхідно розташовувати ВЕС на відстані, що виключає їх вплив на роботу радіо— і телекомунікаційних систем, використовувати при виробництві лопатей радіопоглинаючі покриття.

*Перешкоди повітряному транспорту.* Можна відзначити два аспекти впливу ВЕУ на роботу повітряного транспорту:

- ВЕУ є перешкодою повітряному транспорту, аналогічно високим будівлям і спорудам;
- ВЕУ впливають на системи комунікації, навігації та спостереження, зокрема, на роботу радіолокаційних станцій (РЛС), що використовуються в аеронавігації. Існують вимоги авіації до розміщення ВЕУ поблизу аеродромів, безпечній висоті польотів, оснащення ВЕУ маркованими і сигналізуючими пристроями та нанесення ВЕУ на карти. Також існують вимоги до безпечного розміщення ВЕУ щодо РЛС.

В даний час не існує єдиних нормативних документів, що регламентують вплив ВЕУ на повітряний транспорт.

*Утилізація лопатей вітроустановок.* Істотною проблемою вітроенергетики є утилізація лопатей вітроустановок, що складаються з композитних матеріалів. Враховуючи темпи розвитку вітроенергетики та терміни служби ВЕУ, ця проблема найбільш гостро постане перед людством тільки після 2020 року, а в Україні після 2040 року.

На сьогоднішній день, пропонується два основних способи утилізації: механічна і термічна переробка. Найбільш популярним способом переробки

лопатеї є термічний спосіб (спалювання). В цьому процесі утворюється велика кількість золи (близько 60% від спалюваної маси), яка вимагає утилізації. Перспективним методом переробки лопатеї є піроліз (500°C), в результаті якого волокна лопатеї можна повторно використовувати, а утворений при піролізі газ, спалювати для отримання тієї ж електроенергії.

## **12.2. Сонячна енергетика**

Сонячне випромінювання відноситься до невичерпного, безкоштовного та доступного джерела енергії, що у теперішній час сприяє широкому розвитку сонячної енергетики. Кожні 8 хвилин від Сонця надходить стільки енергії, скільки людство витрачає за рік.

*Сонячна енергетика* – це галузь енергетики, яка пов'язується з розробкою методів і засобів перетворення сонячної енергії в електричну або теплову енергію. Для України така галузь вважається відносно новою, але природні умови сприяють використанню енергії Сонця, що є перспективним для її розвитку в країні. Серед альтернативних джерел енергії, сонячна енергетика розвивається найбільшими темпами. Вже у 2019 р. частка сонячних електростанцій (СЕС) у загальній генерації електроенергії України складає 52% від усіх джерел відновлювальної енергетики. Сумарне річне надходження сонячної радіації на територію України є еквівалентним 88,4 млрд т у.п., і це дозволяє при її використанні значно скорочувати обсяги спалювальних мінеральних енергетичних ресурсів.

Існують наступні види сонячних електростанцій: фотоелектричні, геліотермальні, термоповітряні, сонячні аеростатні. В промисловому масштабі використовуються фотоелектричні та геотермальні електростанції. Сонячну енергію також використовують для комунальних потреб (обігрівання приміщень, гарячого водопостачання), що здійснюється за допомогою сонячних колекторів.

В Україні сонячні електростанції та геліосистеми для забезпечення гарячого водопостачання можуть бути використані як у централізованому

енергопостачанні, так і у локальному. При цьому важливим фактором є наявність великих відкритих ділянок для їх встановлення, що у тому числі передбачають незатінені дахи будинків в межах населених пунктів.

Таким чином, в сонячній енергетиці виділяються два основних практичних напрями використання сонячної енергії:

1) перетворення сонячної енергії в електричну енергію, що включає:

– фотоелектричний метод перетворення (електромагнітне випромінювання оптичного діапазону Сонця перетворюється в електроенергію постійного струму);

– термодинамічний метод перетворення (сконцентрована сонячна енергія використовується для одержання пари, яка, обертаючи турбогенератор, виробляє електроенергію);

2) перетворення сонячної енергії в теплову енергію, у тому числі для опалення та гарячого водопостачання.

При застосуванні фотоелектричного методу перетворення при виробництві електроенергії застосовуються фотоелектричні перетворювачі (ФЕП), або сонячні елементи (СЕ), або фотоелементи (ФЕ).

При застосуванні термодинамічного методу на СЕС енергія сонячної радіації концентрується на котлі, пара з якого надходить на турбіну з електрогенератором.

#### **12.2.1. Сонячні фотоперетворювачі та екологічність їх виготовлення**

У сонячній фотоенергетиці сонячне випромінювання перетворюється в електроенергію у фотоелементах, де енергія сонячного випромінювання безпосередньо перетворюється на електричну. Фотоелемент (ФЕП) – електронний прилад, який безпосередньо перетворює енергію фотонів в електричну енергію. Це зумовлює досить просту конструкцію пристроїв у порівнянні з пристроями СЕС, що працює з використанням термодинамічного циклу.

Велика кількість фотоелементів, які з'єднані послідовно або паралельно, утворюють модулі (сонячні батареї, фотобатареї). Фотобатареї, які працюють на спільне навантаження, утворюють електростанції.

Фотоелементи є напівпровідниковими перетворювачами, які володіють селективною спектральною чутливістю. Фотоефект здійснюється у напівпровідникових структурах з р-п переходами, які по суті є генераторами електричної енергії, перетворюючи сонячне випромінювання в електроенергію.

Загальний вид фотоелектричної панелі приведена на рис. 12.2.



Рисунок 12.2 – Загальний вид фотоелектричної панелі

Фотоелектричні перетворювачі є основним елементом панелі. Захистну функцію виконує плівка етилвінілацетату та скляна плита. З'єднувачі, що виконані із металу, закріплюють сонячні панелі. Для фіксації і закріплення панелі застосовується алюмінієвий каркас.

Стандартна технологія виготовлення сонячних елементів включає етапи:

- плазмова обробка пластин та текстурування поверхні пластин;
- створення р-п-переходу;
- плазмохімічне осадження антивідблискного покриття;
- металізація, нанесення лицьових і тильних контактів, впалювання контактів. Лицьові контакти наносяться зі срібла, а тильні – з алюмінію;
- вимір ККД.

У теперішній час широкого поширення отримали 3 види фотоелектричних перетворювачів та сонячних батарей на їх основі:

- ФЕП на основі монокристалічного кремнію;
- ФЕП на основі полікристалічного кремнію;
- тонкоплівкові ФЕП на основі аморфного кремнію (у вигляді тонкої плівки Si).

ККД фотоелектричного перетворення для різних типів ФЕП складає,%:

- Si (кристалічний) – 18,7 ;
- Si (полікристалічний) – 17,3;
- Si (тонкоплівковий) – 13,6;
- InTeCd (тонкоплівковий) – 10,4.

Приблизно 80% всіх модулів виготовляють на основі полі- або монокристалічного кремнію, такі модулі є лідером використання на протязі останніх десятиліть. Альтернативні варіанти даним модулям містять токсичні елементи (Cd у CdTe) та / або рідкоземельних елементів (In, Ga у CIGS та CIGS), що обмежує їх використання.

Для виробництва сонячного кремнію використовують кремній високої чистоти, який одержують у рудно-термічних печах або у печах кипячого шару. Розроблено безліч технологій очищення металургійного кремнію до вимог чистоти сонячного: гідрометалургійна обробка, електролітичне рафінування, вакуумна дистиляція і дегазація, плазмова і електронно-променева плавки, кристалофізичне рафінування.

Принципова технологічна схема одержання полікристалічного кремнію приведена на рис.12.3.

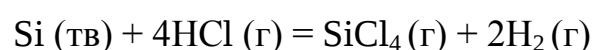
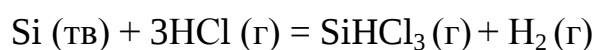
Отримання технічного кремнію здійснюється шляхом відновлення діоксиду кремнію вуглецем. Для цього процесу найчастіше використовують дугову електричну печ з графітовими електродами. Піч завантажується сумішшю, що містить чисті сорти кварцового піску, а також вуглець (вугілля, кокс, деревна тирса). Суміш нагрівається до температури понад 2000°C пропусканням струму. Пропусканням струму суміш нагрівають до



Рис. 12.3 – Принципова технологічна схема одержання полікристалічного кремнію

температури понад 2000°C. При цьому утворюється технічний кремній, що містить 98–99 % Si, 1–2 % Fe, B, P, Ca, Cr, Cu, Mg, Mn, Ni, Ti, V, Zr та ін.

Технологія одержання полікристалічного кремнію заснована на процесі водневого відновлення трихлорсилану. Трихлорсилан отримують взаємодією технічного кремнію при температурі 260–400°C з хлористим воднем або з сумішшю газів, що містять хлористий водень:



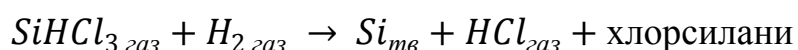
Реакція одержання трихлорсилану може проходити із застосуванням у якості каталізаторів міді, заліза, алюмінію. Побічними реакціями отримання тетрахлорида кремнію та інших хлорсиланів є утворення галогенідів металів ( $AlCl_3$ ,  $BCl_3$ ,  $FeCl_3$  і т.д.).

Парогазова суміш, що утворилась у результаті синтезу, надходить в зону охолодження, де здійснюється її охолодження до 40–130°C. В результаті цього у вигляді пилу виділяються частинки домішок (хлориди заліза, алюмінію і ін.). Останні разом з не прореагованим кремнієм та поліхлоридами кремнію відокремлюються за допомогою фільтрів.

Очищена від пилу парогазова суміш надходить на конденсацію, що відбувається при температурі – 70°C. При цьому при температурі кипіння 31,8° С протікає відділення  $SiHCl_3$ , а при 57,2°C –  $SiCl_4$ . Крім того, при відповідній температурі кипіння виділяється водень і  $HCl$ .

Отримана в результаті конденсації суміш до 90-95% складається з трихлорсилану, решта – це тетрахлорид кремнію, який відокремлюється ректифікацією.

Відновлення очищеного трихлорсилану проводять в атмосфері водню з одержанням полікристалічного кремнію:



З екологічної точки зору повний цикл виготовлення сонячних батарей від одержання металічного кремнію до одержання модулів не є безпечним.

Транспортування сировини супроводжується утворенням кварцового пилу, що викликає необхідність застосування пиловловлюючих установок (циклонів, рукавних фільтрів) та потужних вентиляційних систем. При цьому джерелами забруднення є стрічкові транспортери подачі кварциту.

Металургійний кремній одержують у електродугових печах, які є джерелом утворення колошникового газу. Склад газу значною мірою залежить від сировини, але у більшості він складається з  $CO$  (85– 90%). До 20% кремнію при плавлі втрачається у вигляді моно- та діоксиду кремнію, а також пилу

кремнію, що виносяться газами. Для очищення викидів від пилу застосовуються рукавні фільтри та електрофільтри.

Суттєвим недоліком процесу одержання полікремнію є висока концентрація хлористого водню і хлорсиланів ( $\text{SiCl}_4$  та ін.) в абгазах, що утворюються в реакторі після відновлення кремнію. Для очищення абгази направляються в колони абсорбції, де з них уловлюється трихлорсилан і хлористий водень.

Забруднювачем у виробництві фотоелементів є кремнефтористоводнева кислота ( $\text{H}_2\text{SiF}_6$ ), яку використовують для полірування напівпровідникових пластин. Очищення викидів, що містять цю кислоту, здійснюється у іонообмінних фільтрах.

В процесі виробництва трихлорсилану і чотирихлористого кремнію утворюються такі види відходів: пил кремнію від відділення дроблення і розмелювання; кремній з реактора; пил кремнію з фільтрів та від сухого способу пилоочистки; шлам пилоочистки, що здійснювалась мокрим способом; шлам установки нейтралізації.

Утворений у процесі дроблення і розмелювання кремній, а також пил з фільтрів очистки повертається в основний процес. Пил, вловлений у очисному апараті, який недоцільно повторно використовувати в синтезі, направляється на дезактивацію спільно з відпрацьованим кремнієм.

Нейтралізація шламів може здійснюватися у періодичному режимі в нейтралізаторах за допомогою розчину концентрованого лугу і стічних вод, що утворилися при санітарній очистці абгазів. Суспензія, утворена при висушуванні шламів мокрого очищення, направляється для утилізації в будівельній індустрії або у сталеливарному виробництві.

Відходи трихлорсилану можуть використовуватись на хімічному виробництві, а відходи тетрахлориду кремнію – у виробництві кварцового скла.

### 12.2.2. Геліотермальна енергетика

Енергозабезпечення будівель можливо шляхом впровадження сонячних колекторів для систем гарячого водопостачання та опалення. За допомогою сонячних колекторів отримується енергія, яка майже не чинить шкідливого навантаження на навколишнє середовище. Геліосистема може покрити до 50 – 60% енергетичних витрат, що зазвичай витрачаються на гаряче водопостачання, та економити енергетичні ресурси при одержанні електричної енергії.

Геліотермальна енергетика заснована на фокусуванні сонячного випромінювання на ємності з водою для подальшого використання нагрітої води в опалюванні або в парових електрогенераторах.

Сонячна енергетика дозволяє одержати електроенергію у теплових машинах (парогенераторах), у яких тепло отримується завдяки потоку сонячного світла, що перетворює воду на пару без використання будь-якого палива. Для цього сонячне світло за допомогою системи дзеркал концентрують на спеціальний сонячний котел (ресівер), з якого утворена водяна пара спрямовується в стандартну парову турбіну. Ресівер виробляє водяну пару середніх параметрів.

Схема будови енергетичних геліоустановок наведена на рис. 12.4.

Робочим тілом у колекторах є вода або у зимовий період водно-спиртовий розчин. Ефективність використання падаючого на приймач випромінювання становить від 20 до 35%, а вироблена електроенергія – від 10% до 30% ефективного падаючого випромінювання.

Більшість сонячних електростанцій передбачає поле розміщених на рівні землі дзеркал–геліостатів, що орієнтуються за сонцем, і відбивають сонячні промені на приймач–ресівер, встановлений на високій вежі. Принципова схема паросилової сонячної електростанції приведена на рис. 12.5.

Недоліком електростанції є те, що вона може працювати тільки при прямому освітленні сонячними променями. Зважаючи на це, щоб уникнути перебоїв у генерації струму, такі станції комбінують зі звичайними тепловими електростанціями. Інший недолік станцій – великі площі дзеркал.

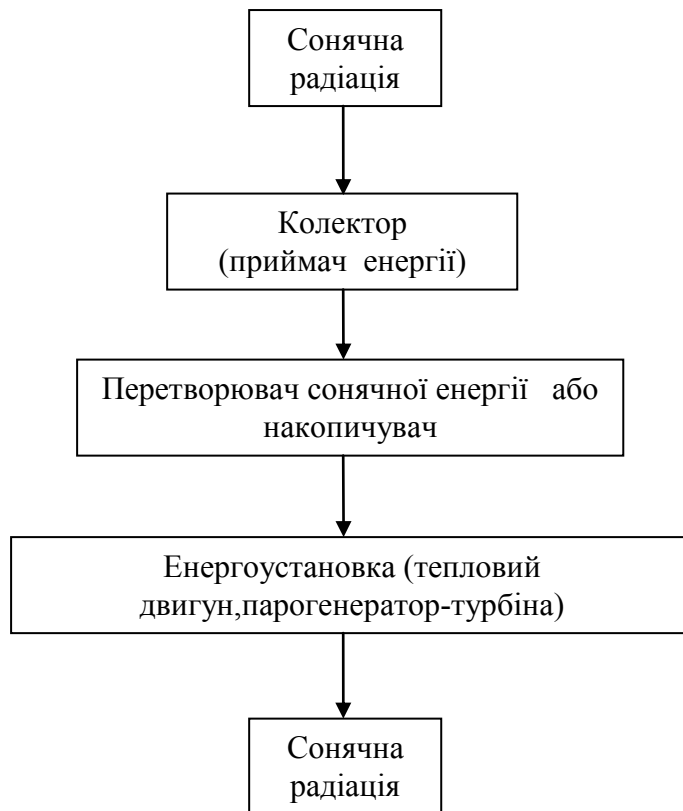


Рис. 12.4 – Принципова схема геліоенергетичної установки



Рис.12.5 – Принципова схема паросилової сонячної електростанції

У процесі перетворення сонячної енергії в теплову радіаційне сонячне випромінювання сприймається сонячним колектором. Сонячний колектор – це об'ємна конструкція, через яку циркулює теплоносій, а її зовнішня сторона зі сторони джерела випромінювання має чорну поглинаючу поверхню.

Функціонування сонячного колектора передбачає циркуляцію води через труби (теплообмінник), у якому сонячне проміння нагріває воду, та подачу нагрітої води в систему опалення чи гарячого водопостачання.

Системи на основі сонячних енергетичних установок, що перетворюють енергію сонячної радіації в теплову, поділяються на дві основні групи:

- пасивні, у яких приймачем сонячної енергії є самі об'єкти, що нагріваються;
- активні, у яких сонячна енергія сприймається, накопичується і транспортується в спеціальних пристроях. Основним елементом пристроїв є геліоприймач, а теплоносієм може бути газ (повітря) або рідина у виді води чи розчину солей.

Розроблені *пласкі і вакуумні сонячні колектори*. Плaskий колектор складається з абсорбера (поглинача), системи труб, прозорого покриття, термоізолюючого шару (рис. 12.6).



Рис. 12.6 – Будова плаского сонячного колектора  
[<http://energy-kharkov.com>]

Абсорбер сконструйований з листів міді або алюмінію та системи труб. На його пластину наноситься спеціальне покриття, яке має високу поглинальну здатність у видимому діапазоні спектру та низький коефіцієнт випромінювання у інфрачервоному діапазоні. Абсорбційний шар може бути з чорного хрому або на основі оксидів кремнію та титану. Плaskі колектори здатні нагрівати воду до 190 – 200°C.

Одержане у поглиначі тепло передається теплоносію (гліколь), що

циркулює по трубах колектора. Корпус та скляна кришка захищає колектор від зовнішніх атмосферних умов та втрати тепла (мінеральна вата).

Загальний вид вакуумного колектора приведений на рис. 12.7.

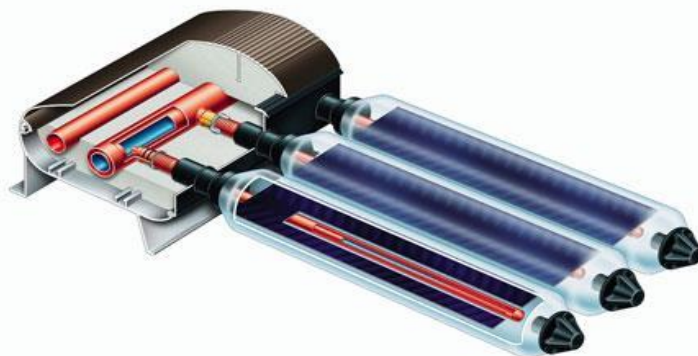


Рис. 12.7 – Вакуумований трубчастий сонячний колектор

Вакуумований простір дозволяє практично повністю усунути втрати тепла. Сонячна радіація проходить крізь вакуумовану скляну трубку, потрапляє на поглинач і перетворюється на теплову енергію. Тепло передається рідині, що протікає по коаксіальному трубчастому прямооточному теплообміннику. Кожна трубка теплообмінника сполучена з накопичувальним баком – колектором, що являє собою систему з 2 мідних труб. За однією з них нагріта вода передається в бак–накопичувач, за іншою – холодна вода з бака – накопичувача надходить на нагрів у вакуумовану трубку.

Різновидом вакуумованого трубчастого сонячного колектора є колектор з тепловою трубкою. В такому колекторі одна скляна або металева трубка вставлена в іншу, що має більший діаметр. Між ними створюється вакуум, який добре теплоізолює систему. Значною перевагою колектора у порівнянні з іншими є те, що він працює при низьких температурах (до мінус 30 – 45° C).

Крім розглянутих плоских і вакуумних сонячних колекторів, використовуються сонячні повітряні колектори, які працюють на сонячній енергії та нагрівають повітря.

Існують дослідницькі пропозиції щодо застосування сонячних концентраторів, які для одержання високої температури фокусують сонячне світло в одній точці. Передбачається можливість одержання температури для технічних процесів виробництва цементу та сталі, що дозволить скоротити викиди парникових газів промислових підприємств.

Негативний вплив на довкілля сонячних колекторів майже не відбувається. Водночас опосередковано такий вплив визначається необхідністю застосування для виготовлення з'єднань геліоустановок рідкоземельних металів. Видубуток таких металів характеризується нанесенням значної шкоди навколишньому середовищу.

### *КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДО РОЗДІЛУ*

1. За якими чинниками класифікуються теплові електричні станції?
2. Охарактеризуйте принципову технологічну схему виробництва електричної енергії на ТЕС, що працює на твердому паливі.
3. В чому проявляється негативний вплив теплової енергетики на атмосферне повітря?
4. Як здійснюється інженерний захист повітряного басейну від забруднених викидів теплових станцій?
5. Охарактеризуйте стічні води ТЕС та способи їх очищення.
6. Який склад золошлакових відходів ТЕС? Опишіть напрямки утилізації цих відходів.
7. В чому полягають особливості одержання електричної енергії на АЕС?
8. Яка структура ядерного реактору? Як регулюється його робота?
9. Охарактеризуйте конструкцію тепловидільних елементів.
10. Оцініть стан розвитку вітроенергетики в Україні.
11. Яка конструкція вітрової енергетичної установки? На які класи поділяються вітроенергетичні установки?
12. В чому полягають екологічні аспекти вітроенергетики?

13. Які існують практичні напрямки використання сонячної енергії?
14. Опишіть конструкцію сонячних фотоперетворювачів.
15. Охарактеризуйте принципову схему одержання полікристалічного кремнію та визначте її екологічність.
16. Приведіть та охарактеризуйте схему будови енергетичних геліоустановок.
17. Якими особливостями характеризуються конструкції сонячних колекторів?

### *РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА*

#### Основна

1. Варламов Г. Б. Теплоенергетика та екологія: підручник / Г.Б.Варламов, В.А. Любчик, Г.Б. Малярєнко, Г.М. Варламов. – Х. : САГА, 2008. – 234 с.
2. Малярєнко В.А. Енергетичні установки. Загальний курс [Електронний ресурс]: навч. посіб. / В.А.Малярєнко. – Харків: Видавництво САГА, 2008. 320 с. – Режим доступу: <http://eprints.kname.edu.ua/5763/3/Ustanovki.pdf> . – Дата звернення: 10 вересня 2019.
3. Єфімов О.В. Конструкції, матеріали, процеси і розрахунки реакторів і парогенераторів АЕС [Електронний ресурс]: навч. посіб. / О.В. Єфімов, М.М.Пилипенко – Режим доступу: [http://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPIPress/20858/1/Yefimov\\_Konstruktsii\\_materialy\\_2015.pdf](http://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPIPress/20858/1/Yefimov_Konstruktsii_materialy_2015.pdf) . – Дата звернення: 10 вересня 2019.
4. Півняк Г. Основи вітроенергетики: підручник / Г.Півняк, Ф.Шкрабець, Н.Нойбергер, Д.Ципленков.– Д.: НГУ, 2015. – 335 с.
5. Клименко Л.П. Системи технологій: навч.посіб. / Л.П.Клименко, С.М.Соловійов, Г.Л.Норд. – Миколаїв: Вид-во МДГУ ім.Петра Могили, 2007. – 600 с.

6. Поважний С.Ф. Системи технологій: навч. посіб. / С.Ф.Поважний, М.Т.Демченко, О.М. Демченко, В.В.Харченко. – Донецьк: ДонДУУ, 2012. – 198 с.

7. Малярєнко В.А. Енергетичне та навколосистемне середовище / В.А.Малярєнко. – Харків: САНА Publ, 2009. – №2. – С. 253– 25.

8. Півняк Г.Г. Альтернативна енергетика в Україні: монографія / Г.Г.Півняк, Ф.П.Шкрабець. – Д.: НГУ, 2013. – 109 с.

#### Додаткова

9. Блинков Ю. В. Технологические процессы и оборудование ТЭС. Основы производства тепловой и электрической энергии: учеб. пособ. / Ю.В.Блинков.– Пенза: Изд-во Пенз. технол. ин-та, 2000. – 140 с.

10. Мисак Й.С. Об'єкти теплових електричних станцій. Режим роботи та експлуатації / Й.С.Мисак, Я.Ф.Івасик, П.О.Гут, Л.М.Лашковська. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2007. – 256 с.

11. Стратегические минеральные ресурсы Украины для ядерной энергетики / Е.А. Кулиш [и др.]. – К.: Логос, 2010. – 287 с.

12. Конспект лекцій з дисципліни «Теплові електричні станції» для студентів за напрямом 6.050601 – Теплоенергетика заочної форми навчання/ укл. Глущенко О.Л. [Електронний ресурс]. – Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2012. – 126 с. – Режим доступу: <http://www.dstu.dp.ua/Portal/Data/6/29/6-29-kl56.pdf> . – Дата звернення: 10 вересня 2019.

13. Лега Ю. Г.Шляхи покращення очистки димових газів / Ю.Г. Лега, О.О.Мислюк, Н.М.Корнелюк // Вісник Черкаського державного технологічного університету. Екологічна безпека, 2008. – №1. – С. 42– 48.

14. Залогіна Н.Г. Енергетика та охорона оточуючого середовища: навч. посіб./ Н.Г. Залогіна, Л.І.Кроппа, Ю.М.Кострикіна. – М: Енергія, 2009. – с. 97 – 103.

15. Долгополов Н.В. Безотходная сероочистка дымовых газов угольных ТЭС / Н.В.Долгополов // Екологія в теплоенергетиці, 2014. – №1. – С. 27– 34.
16. Костюковський Б.А. Заходи з виконання екологічних вимог за умови спільної роботи ОЕС України з об'єднанням енергосистем європейських країн / Б.А. Костюковський, А.І.Спідковський, Т.П.Нечаєва // Проблеми загальної енергетики, 2013. – Вип. 3 (34). – С.52–59.
17. Семенюк М. В. Очищення газових потоків у відцентрових фільтрах: дис... канд.техн.наук / М.В.Семенюк. – Київ. 2018. – С.36–47.
18. Квасова А. В. Порівняльний аналіз технологій очистки скидних газів теплових електростанцій / А.В.Квасова, Є.І.Зубцов, В.Ю.Тарасов // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля, 2018. – № 7 (248). – С.22 –23.
19. Кулик М.П. Аналіз екологічної небезпеки об'єктів теплової енергетики та методів зменшення шкідливих викидів / М.П.Кулик // Вісник інженерної академії України, 2014. –№2. – С. 253–258.
20. Улавливание и хранение двуокиси углерода: специальный доклад МГЭИК [Електронний ресурс]. – Режим доступа: [http://archive.ipcc.ch/pdf/special-reports/srccs/srccs\\_spm\\_ts\\_ru.pdf](http://archive.ipcc.ch/pdf/special-reports/srccs/srccs_spm_ts_ru.pdf). – Дата обращения: 10 сентября 2019.
21. Чобан А.Ф. Оцінка впливу стічних вод ТЕС на природні водні об'єкти / А.Ф.Чобан, С.Я.Чобан // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності, 2008. – №4. –С.52–58.
22. Копылов А.С. Водоподготовка в энергетике: учеб.пособ. / А.С.Копылов, В.М.Лавыгин, В.Ф.Очаков. –М.:Изд-во МЭИ, 2003. – 309 с.
23. Пасенко А.В. Технологічне забезпечення процесу переробки відходів водоочищення теплоелектростанцій на етапі зневоднення шламової пульпи / А.В.Панасенко // Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського, 2013. – Вип. 2 (79). –С.133–138.
24. Зольні та золошлакові відходи як багатофункціональна сировина / В.І. Кашковський [та ін.] // Nauka innov., 2017. –13 (4). – С. 53–63.

26. Хлопицький О.О. Стан, проблеми та перспективи переробки золошлакових відходів теплоелектростанцій України / О.О. Хлопицький. Scientific Journal «ScienceRise», 2014. – №4/2. DOI: 10.15587/2313-8416.2014.28511.

27. Електроенергетика та охорона навколишнього середовища. Кн. 5. Функціонування енергетики в сучасному світі [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://energetika.in.ua/ua/books/book-5> . – Дата звернення: 10 вересня 2019.

28. Будько В.І. Сучасні технологічні процеси, обладнання та устаткування фотоелектричного перетворення сонячної енергії [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.reee.org.ua/download/trainings/%D0%A2%D0%9C\\_10.pdf](http://www.reee.org.ua/download/trainings/%D0%A2%D0%9C_10.pdf). – Дата звернення: 14 вересня 2019.

29. Таиров Ю.М. Технология полупроводниковых и диэлектрических материалов: уч. для вузов / Ю.М.Таиров, В.Ф.Цветков. – Издательство «Лань», 2002. – 425 с.

30. Сінчук І.О. Нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії: навч. посіб./ І.О.Сінчук, С.М.Бойко, К.І.Лосіна, Г.І.Ткаченко. – Кременчук: Видавництво ПП Щербатих О.В., 2013. – 192 с.

31. Будько В. І. Сучасні технологічні процеси, обладнання та устаткування фотоелектричного перетворення сонячної енергії [Електронний ресурс]. – Київ, 2015. ЮНІДО. – Режим доступу: [http://www.reee.org.ua/download/trainings/%D0%A2%D0%9C\\_10.pdf](http://www.reee.org.ua/download/trainings/%D0%A2%D0%9C_10.pdf). – Дата звернення: 10 вересня 2019.

32. Прорыв в солнечной энергетике [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ecotechnica.com.ua/energy/solntse/4421-proryv-v-solnechnoj-energetike-sekretnyj-energo-startap-s-finansami-billa-gejtsa-predstavil-novuyu-tekhnologiyu.html> . – Дата звернення: 10 вересня 2019.

33. Рациональное природопользование. Технологии улавливания и захоронения углерода / Глобальные технологические тренды. Трендлеттер №6. 2017 [Електронний ресурс]. – Институт статистических исследований и

экономики знаний Высшей школы экономики. – Режим доступа:  
<https://issek.hse.ru/trendletter/news/206229435.html>. – Дата звернения: 10  
вересня 2019.