

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

І.В. Шульга, Д.В. Мірошніченко

**УСТАТКУВАННЯ ПІДПРИЄМСТВ З ПЕРЕРОБКИ
ТВЕРДИХ ПАЛЬНИХ КОПАЛИН**

Навчальний посібник

для студентів спеціальності 161 – Хімічні технології,
спеціалізації 161-05 – Технології переробки нафти, газу та твердого палива

Рекомендовано Вченою радою НТУ «ХПІ»

Харків
НТУ «ХПІ»

2022

УДК 662.74
Ш 95

Рецензенти:

О.Б. Гринишин, доктор технічних наук, професор, Національний Університет «Львівська політехніка», професор кафедри хімічної технології переробки нафти та газу.

Є.І. Малий, доктор технічних наук, професор, професор кафедри металургійного палива та вогнетривів Українського державного університету науки і технологій

Рекомендовано Вченою радою Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» як навчальний посібник для студентів, аспірантів та інженерно-технічних працівників за спеціальністю 161 – Хімічні технології, спеціалізації 161-05 – Технології переробки нафти, газу та твердого палива, протокол № 3 від 04.07.2022 р.

Шульга І.В.

Ш 95 Устаткування підприємств з переробки твердих горючих копалин: посібник [Електронний ресурс] / І.В. Шульга, Д.В. Мірошніченко. – Харків-Тернопіль: НТУ «ХПІ», Видавництво «Крок», 2022. – 209 с.

ISBN 978-617-692-696-2

У посібнику викладені основні відомості про устаткування підприємств переробки твердих горючих копалин з використанням сучасних та перспективних технологій: коксування (в т.ч. без уловлювання хімічних продуктів коксування та у безперервних процесах), напівкокування, газифікації та гідрогенізації. Це є теоретичною основою для вивчення навчальної дисципліни «Основи технології переробки твердих горючих копалин».

Призначено для студентів і аспірантів за спеціальністю 161 – Хімічні технології, спеціалізації 161-05 – Технології переробки нафти, газу та твердого палива, а також суміжними спеціалізаціями хіміко-технологічного та енергетичного спрямування, пов'язаними з використанням твердого палива.

Іл. 97. Табл. 21. Бібліогр. 94 найм.

ISBN 978-617-692-696-2

© Шульга І.В., Мірошніченко Д.В.
© НТУ ХПІ
2022 р.

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА.....	6
РОЗДІЛ 1. УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ ПРИЙМАННЯ ТА ЗБЕРІГАННЯ ВУГІЛЛЯ.....	10
1.1 Вагоноперекидач.....	10
1.2 Розвантаження вугілля взимку.....	12
1.3 Конвеєри.....	12
1.4 Відкриті склади вугілля.....	13
1.5 Закриті склади вугілля.....	16
Контрольні запитання.....	17
Перелік джерел до 1-го розділу.....	17
РОЗДІЛ 2. УСТАТКУВАННЯ ВУГЛЕЗБАГАЧУВАЛЬНИХ ФАБРИК.....	18
2.1 Устаткування для класифікації вугілля за крупністю.....	18
2.2 Відсадні машини.....	20
2.3 Сепаратори для збагачення вугілля у важких середовищах.....	22
2.4 Сепаратори з відцентровим полем.....	23
2.5 Флотаційні машини.....	24
2.6 Центрифуги.....	25
2.7 Фільтри.....	27
2.8 Сушарки для продуктів збагачення.....	28
Контрольні запитання.....	30
Перелік джерел до 2-го розділу.....	31
РОЗДІЛ 3. УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ ПРИГОТУВАННЯ ВУГІЛЬНОЇ ШИХТИ.....	32
3.1 Конструкції та робота дозаторів.....	32
3.2 Подрібнення вугілля.....	36
3.3 Передача підготовленої шихти до коксового цеху.....	37
Контрольні запитання.....	38
Перелік джерел до 3-го розділу.....	39
РОЗДІЛ 4. КОКСОВІ БАТАРЕЇ.....	40
4.1 Основні вимоги до конструкцій коксових печей.....	40
4.2 Класифікація коксових печей.....	41
4.3 Основні конструктивні елементи коксової батареї.....	41
4.4 Основні принципи конструювання коксових батарей.....	44
4.5 Система опалення ПВР.....	46
4.6 Печі ПВР-46.....	47
4.7 Печі ПВР-51.....	48
4.8 Коксові печі підвищеної ємності.....	50
4.9 Передумови збільшення ємності коксових печей.....	50

4.10	Печі з об'ємом камери 41,3-41,6 м ³	51
4.11	Інтенсифікація роботи коксових печей.....	53
	Контрольні запитання.....	55
	Перелік джерел до 4-го розділу.....	55
РОЗДІЛ 5. ТЕХНОЛОГІЧНЕ УСТАТКУВАННЯ ТА МАШИНИ		
КОКСОВИХ ПЕЧЕЙ.....		
	57	57
5.1	Анкераж, броні, рами та двері коксових печей.....	57
5.2	Газовідвідна арматура коксових печей.....	60
5.3	Закладна арматура коксових печей.....	61
5.4	Опалювальна арматура коксових печей.....	63
5.5	Кантувальне приміщення.....	69
	Контрольні запитання.....	72
	Перелік джерел до 5-го розділу.....	72
РОЗДІЛ 6. КОКСОВІ МАШИНИ.....		
	74	74
6.1	Загальна характеристика.....	74
6.2	Вугленавантажувальний вагон.....	76
6.3	Коксовиштовхувач.....	77
6.4	Дверезйомна машина.....	81
6.5	Коксогасильний (коксівізний) вагон.....	81
6.6	Механізація та автоматизація операцій із завантаження-видачі печей.....	82
	Контрольні запитання.....	82
	Перелік джерел до 6-го розділу.....	83
РОЗДІЛ 7. УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ.....		
	84	84
7.1	Джерела виділення забруднювальних речовин.....	84
7.2	Уловлювання пилу у вуглепідготовчих цехах та при збагаченні вугілля перед коксуванням на збагачувальних фабриках.....	84
7.3	Уловлювання вугільного пилу в процесах термічної підготовки вугільної шихти.....	85
7.4	Бездимне завантаження коксових печей.....	85
7.5	Вловлювання коксового пилу на установках безпилової видачі коксу.....	89
7.6	Очищення від пилу технологічних газів УСГК.....	92
7.7	Уловлювання коксового пилу з аспіраційного повітря УСГК та кососортировки.....	93
7.8	Захист атмосфери та контроль роботи пиловловлювачів.....	94
7.9	Техніко-економічний аналіз за вибору пиловловлюючого устаткування.....	97
	Контрольні запитання.....	98
	Перелік джерел до 7-го розділу.....	99

РОЗДІЛ 8. БУДІВНИЦТВО, ПУСК ТА РЕМОНТИ КОКСОВИХ БАТАРЕЙ.....	101
8.1 Вогнетривкі матеріали для коксових печей.....	101
8.2 Вогнетривкі вироби для кладки коксових печей.....	102
8.3 Кладка коксових печей.....	103
8.4 Сушка кладки коксових печей.....	103
8.5 Розігрів коксових печей.....	105
8.6 Пуск коксових печей.....	105
8.7 Умови експлуатації вогнетривів у коксових печах.....	106
8.8 Ремонт кладки коксових печей.....	107
Контрольні запитання.....	109
Перелік джерел до 8-го розділу.....	110
РОЗДІЛ 9. НОВА ТЕХНІКА КОКСУВАННЯ.....	112
9.1 Печі без уловлювання хімічних продуктів коксування.....	112
9.2 Загальні недоліки періодичних процесів та необхідність розробки безперервних технологій коксування.....	115
9.3 Виробництво формованого коксу.....	116
9.4 Безперервне шарове коксування.....	128
Контрольні запитання.....	133
Перелік джерел до 9-го розділу.....	134
РОЗДІЛ 10. УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ ПРОЦЕСІВ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПЕРЕРОБКИ ВУГІЛЛЯ.....	136
10.1 Напівкоксування твердих палив.....	136
10.2 Газифікація твердих палив.....	152
10.3 Гідрогенізація вугілля.....	188
Контрольні запитання.....	201
Перелік джерел до 10-го розділу.....	203
Список використаних джерел інформації до передмови.....	208

ПЕРЕДМОВА

Устаткування підприємств з переробки твердих горючих копалин – сукупність апаратів та комунікацій, що забезпечує здійснення технологічних процесів виробництва.

Крім того, устаткування підприємств з переробки твердих горючих копалин – учбова дисципліна, предметом якої є сучасні конструкції технологічного устаткування підприємств з переробки твердих горючих копалин, застосування яких на виробництві дозволяє забезпечити безпечну роботу, досягти високих техніко-економічних показників, раціонального використання всіх видів ресурсів, запобігання та знешкодження шкідливих викидів у довкілля.

Науковими основами дисципліни є:

- сучасні уявлення про фізико-хімічну сутність процесів, здійснюваних за переробки твердих горючих копалин з використанням технологічного устаткування різних видів;

- принципи раціонального використання паливних ресурсів зараз і в перспективі;

- теоретичні основи створення екологічно доцільних технологічних систем.

Методологічними основами дисципліни є:

- результати експериментальних досліджень технологічних процесів переробки твердих палив;

- практичні дані про раціональні конструктивні та технологічні параметри роботи устаткування підприємств з переробки твердих палив, а також утворювані при цьому викиди шкідливих речовин у довкілля;

- техніко-економічні показники роботи підприємств галузі.

Мета викладання дисципліни – дати студентам сучасні уявлення про устаткування підприємств з переробки твердих палив, що дозволяють забезпечити безпечну роботу, досягти високих техніко-економічних показників, раціонального використання всіх видів ресурсів, запобігання та знешкодження шкідливих викидів у довкілля.

Задача вивчення дисципліни – навчити майбутніх інженерів використовувати в своїй практичній діяльності сучасне устаткування для переробки твердих палив, забезпечувати за його експлуатації безпечні та нешкідливі умови праці для себе і своїх підлеглих, досягати потрібних техніко-економічних показників виробництва, попереджувати та скорочувати шкідливі викиди у довкілля.

Роль дисципліни в підготовці бакалаврів полягає в отриманні студентами під час навчання теоретичних знань та практичних навичок, спрямованих на підвищення техніко-економічної ефективності використання устаткування за переробки твердих палив, зменшення шкоди довкіллю внаслідок використання сучасних технологічних процесів та устаткування, розробку нових екологічно орієнтованих видів устаткування для переробки твердих палив.

Внаслідок вивчення дисципліни студент повинен знати:

- сучасні конструкції устаткування для переробки твердих палив, його технічні параметри, показники роботи;
- порівняльну характеристику устаткування різних видів, його переваги та недоліки;
- раціональні безпечні прийоми експлуатації устаткування.

Внаслідок вивчення дисципліни студент має вміти:

- підбирати раціональні типи стандартизованого устаткування для здійснення технологічних процесів переробки твердих палив;
- користуватися каталогами для підбору стандартного устаткування;
- забезпечувати ефективну експлуатацію устаткування;
- дотримуватись правил техніки безпеки за експлуатації устаткування;
- прогнозувати екологічні наслідки від експлуатації існуючого та знов створюваного устаткування;
- своєчасно виявляти устаткування, експлуатація якого загрожує довкіллю, здоров'ю працюючих та нормальній роботі підприємства, погіршує техніко-економічні показники виробництва;
- забезпечувати вжиття ефективних заходів із усунення виявлених недоліків в роботі устаткування;
- використовувати в практичній діяльності нормативно-правові документи, що регламентують розробку та експлуатацію устаткування, яке забезпечує вимоги охорони праці і довкілля та досягнення заданих техніко-економічних показників на підприємствах з переробки твердих палив.

Для досягнення цих знань та вмінь студент має бути ознайомлений із:

- сучасними уявленнями про фізико-хімічну сутність хіміко-технологічних процесів переробки палив з використанням технологічного устаткування різних видів;
- діючими нормативно-технічними документами, що регламентують розробку та експлуатацію устаткування (норми технологічного проектування, правила технічної експлуатації, пожежної безпеки, безпеки в газовому господарстві, положення про технологічні регламенти виробництва продукції, інструкція з розрахунку виробничої потужності тощо);

- методами попередження утворення та знешкодження шкідливих викидів у довкілля на підприємствах галузі;
- практичними даними про параметри технологічних процесів та роботи обладнання для переробки палив, утворюваних при цьому викидах шкідливих речовин у довкілля;
- техніко-економічними показниками експлуатації устаткування на підприємствах галузі.

Учбові заняття з дисципліни складаються з аудиторних занять (лекції, практичні заняття, співбесіди з викладачем під час захисту контрольних робіт, консультації, іспит) та самостійної роботи студентів (виконання контрольних робіт, підготовка до занять, захисту контрольних робіт та іспиту).

Основним видом аудиторної роботи є лекції, під час яких викладачем головна увага приділяється основним фізико-хімічним та технологічним принципам роботи устаткування, сучасним і перспективним технічним рішенням, спрямованим на підвищення його експлуатації, зменшення шкідливого впливу підприємств на довкілля, невирішеним наразі технічним, технологічним та екологічним питанням. Практичні заняття, що проводяться у відповідності з учбовим планом, присвячені вивченню питань раціонального вибору устаткування для різних процесів переробки твердих палив, та визначення раціональних параметрів його роботи.

Приступати до виконання контрольної роботи слід лише після повної проробки теоретичного матеріалу (не лише того, що безпосередньо відноситься до завдань свого варіанту роботи). За відповіді на теоретичні питання слід коротко та чітко викласти їх сутність. Ці відповіді не мають зводитись до простого переписування або сканування відповідних розділів навчального посібника, конспекту лекцій або інших джерел, а мати явні ознаки самостійної роботи студента. Виконання контрольної роботи передбачає користування не лише цим навчальним посібником, але й рекомендованою літературою, список якої наведений наприкінці кожної глави.

Студенти заочної форми навчання виконують контрольну роботу в окремому зошиті та у встановлений учбовим планом термін спрямовують його поштою або подають особисто в дирекцію інституту хімічної технології та інженерії для реєстрації і перевірки викладачем. Студенти, що не подали контрольну роботу, не допускаються до лабораторно-екзаменаційної сесії.

Система контролю якості навчання складається з перевірки викладачем та захисту студентом контрольних робіт і практичних завдань, а також екзамену, на якому відбувається підсумкове оцінювання знань студенту з вивченої дисципліни. Оцінювання проводиться за Болонською системою з урахуванням наступних критеріїв:

А – «відмінно» - без помилок або з однією незначною помилкою;

В – «дуже добре» - рівень вище середнього, але з декількома незначними помилками;

С – «добре» - звичайний рівень з декількома більш значними помилками;

D – «задовільно» - посередній рівень зі значними недоліками;

Е – «достатньо» - мінімально прийнятний рівень;

F_x – «не здано» - для зарахування необхідна певна доробка;

F – «не здано» - для зарахування необхідна значна доробка.

Під час підготовки до екзамену студент має повністю актуалізувати знання і навички, набуті під час вивчення даного курсу та суміжних дисциплін.

Загальний обсяг часу на вивчення курсу – 150 годин (5 кредитів), в т.ч.:

– для студентів денної форми навчання – 64 години аудиторної роботи (32 години лекції та 32 години – практичні заняття), 86 годин – самостійна робота студента під керівництвом викладача;

– для студентів заочної форми навчання – 16 годин аудиторної роботи (8 годин лекції та 8 годин – практичні заняття), 134 години – самостійна робота студента.

Дисципліна «Устаткування підприємств з переробки твердих горючих копалин» пов'язана з наступними фундаментальними та інженерними науковими дисциплінами: фізикою, математикою, прикладною механікою, хімією, процесами та апаратами хімічної технології, основами технології переробки твердих горючих копалин, безпекою життєдіяльності. Результати, знання та навички, отримані студентами з дисципліни, використовуються за вивчення проектування підприємств з переробки твердих горючих копалин, економіки галузі, охорони праці, екології підприємств галузі, виконанні курсових та дипломних робіт і проектів.

1. УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ ПРИЙМАННЯ ТА ЗБЕРІГАННЯ ВУГІЛЛЯ

1.1 Вагоноперекидач

Зараз прибуле вугілля на коксохімічних підприємствах розвантажують головним чином за допомогою роторних стаціонарних вагоноперекидачів ПАТ «Дніпроважмаш».

Вагоноперекидач типу ВРС-2 (вагоноперекидач двохроторний стаціонарний, рис. 1.1) складається з двох роторів, що опираються своїми бандажами 2 на три пари балансувальних роликів опор 1, платформи з двома люльками 11 та двох приводів 9 для обертання роторів.

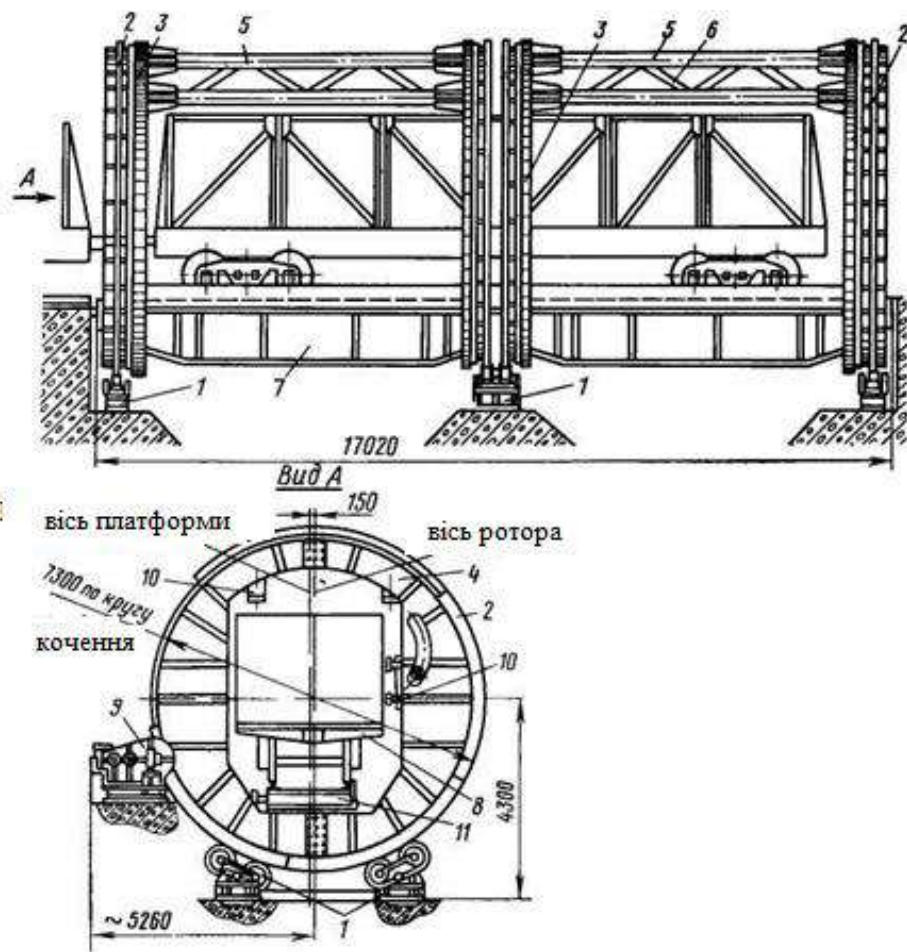


Рис. 1.1. Коловий вагоноперекидач з приводом крізь зубчасті вінці

Ротор виконаний у вигляді жорсткої металевої зварної конструкції, що складається з двох дисків 4, з'єднаних між собою поздовжніми трубчастими балками 5, зв'язаними одна з одною трубчастими розкосами 6. Нижня частина ротору виконана у вигляді рами 7. З торцевих боків рама пов'язана з дисками 4. В верхній частині ротору до поздовжніх балок та дисків приварені упори 10, на

які спирається за перекидання вагон 8. Привід 9 складається з електродвигуну, редуктору, двох валів та двох відкритих зубчастих передач, кожна з яких має шестерню та зубчастий вінець 3, закріплений на диску ротору.

За повороту роторів на 15° платформи з вагоном під дією власної ваги переміщуються до повного прилягання вагону до привальних стінок роторів, платформа з люльками та вагон переміщуються до контакту вагону з верхніми упорами; за повороту на $170-175^\circ$ привід відключається кінцевими вимикачами. За зворотного обертання ротору вагон повертається у вихідне положення.

Основні операції виконуються вагоноперекидачем автоматично.

Поліпшення висипання вугілля за розвантаження досягається за допомогою двох вібраторів.

Подача вагонів до вагоноперекидача здійснюється за допомогою локомотивів, електровізків, маневрових лебідок.

Технічна характеристика вагоноперекидача ВРС-2:

- діаметр за колом катання – 7300 мм;
- довжина платформи – 17000 мм;
- максимальна маса завантаженого вагону – 150 т;
- швидкість обертання ротору - 1,4 об/хв;
- кількість перекидань на годину – 30;
- електродвигуни – 2×45 кВт;
- маса вагоноперекидача – 135 т.

Пропускна здатність вагоноперекидача в т/добу:

$$Q = n \cdot q \cdot t. \quad (1.1)$$

де n – кількість перекидань на годину, з урахуванням можливих ускладнень у вивантаженні вугілля, особливо взимку, приймають $n = 20$; q – середня маса вугілля в одному вагоні, т; t – чистий час роботи вагоноперекидача на добу, 16-17 годин.

Для великих підприємств можливе встановлення двох вагоноперекидачів в одній будівлі на різних залізничних коліях із забезпеченням можливості самостійної роботи кожного з них. Вугілля з вагонів потрапляє в два залізобетонних бункери загальною ємністю 130 т.

Під бункерами встановлені високопродуктивні (до 2000 т/год) стрічкові конвеєри.

1.2 Розвантаження вугілля взимку

Гараж-розморожувач призначений для полегшення розвантаження вугілля взимку. Гаражі бувають одно- та двохколіїні і розраховані на одночасний розігрів 10 або 20 залізничних вагонів із змерзлим вугіллям. Споруда гаражу цегляна, складається з однієї або двох секцій. По торцях секції є ворота, до гаражу примикає машинне відділення, в якому є димосмок, топка, вентилятор та газопровід. Продукти спалювання коксового газу подають в розподільчі газопроводи, укладені в гаражі вздовж залізничних колій. Температура в гаражі не повинна бути вищою за 130 °С, оскільки за вищої температури швидко виходить з ладу гальмівне устаткування залізничних вагонів.

Тривалість розморожування складає в залежності від товщини промерзлого шару 1,5-3,0 години.

Вказаної тривалості розморожування достатньо для вивантаження вугілля з вагонів, але не його повного відтаювання. Тому значна частина вивантаженого вугілля у вигляді глиб затримується на решітках вуглеприймальної ями. Ці глиби руйнують за допомогою дробарно-фрезерної машини, що являє собою фрезу (обертальне колесо з ріжучими зубцями), закріплену на рухомій рамі, з електричним приводом.

1.3 Конвеєри

Конвеєри є основним засобом транспортування вугілля всередині підприємства. Найбільш поширеними є стрічкові конвеєри (рис. 1.2).

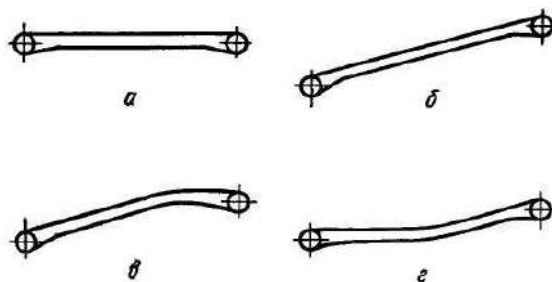


Рис. 1.2. Стрічкові конвеєри:
a – горизонтальний; *б* – похилий; *в* та *г* – криволінійні

Вони відрізняються високою продуктивністю, порівняно невеликою витратою електроенергії, великою дальністю транспортування, збереженням

переміщеного матеріалу, відносно легкістю конструкції та простотою обслуговування.

Однак застосування їх дещо обмежене тим, що неможливо транспортувати матеріали під великими (більше 20 °) кутами нахилу. Через це збільшується довжина конвеєрів, капітальні та експлуатаційні витрати.

В місці завантаження конвеєра бажано зниження куту його нахилу на 6-8 °.

Для конвеєрів, встановлених в неопалюваних приміщеннях, для виключення можливості змерзання переміщеного матеріалу та обмерзання стрічки взимку слід передбачити обігрів стрічки за допомогою прокладених під робочою гілкою паропроводів.

Для вугілля з вологістю до 8 % припускається швидкість руху стрічки 2 м/с, з більшою вологістю – 2,5 м/с.

Межа швидкості стрічки за наявності плужкового скидача складає для крупнокускового матеріалу 1,25 м/с, а для дрібнокускового – 1,6 м/с.

На конвеєрах для вугілля застосовують транспортерні тканинні гумовані стрічки загального та спеціального призначення (морозостійкі).

В коксохімічній промисловості найбільше поширення отримали конвеєри з шириною стрічки 800, 1000, 1200 та 1400 мм.

Для видалення металевих предметів з вугілля застосовують електромагнітні сепаратори. Вони бувають підвісними та барабанными. Широке розповсюдження отримали барабанні магнітні сепаратори БМ. В них магнітний барабан одночасно є ведучим барабаном конвеєру, на якому з вугілля вилучають метал, що туди випадково потрапив.

Металеві предмети притягуються магнітами та, притиснуті до стрічки, виводяться в лоток, а звільнене від металевих предметів вугілля надходить до жолобу. Електромагнітні сепаратори становлюють у місць перевантаження вугілля. В залежності від ширини стрічки конвеєру застосовують сепаратори БМ 12/10, БМ 14/10, БМ 18/10.

1.4 Відкриті склади вугілля

Відкриті склади вугілля бувають одно- та двохгалерейними. Як і закриті склади, вони призначені для зберігання та усереднення якості вугілля.

Одногалерейний вугільний склад (рис. 1.3). Розвантажене на вагоноперекидачі вугілля надходить на реверсивні конвеєри галереї, з яких штабелером подається на первинні штабелі.

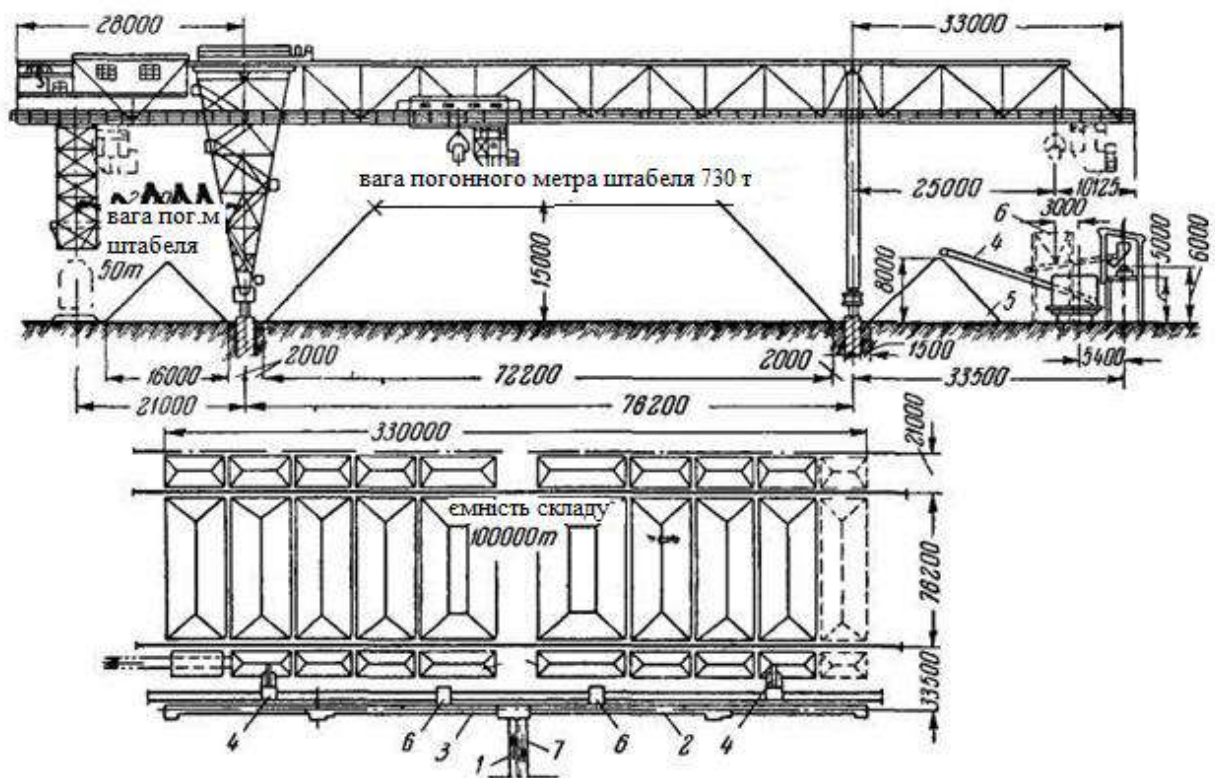


Рис. 1.3. Одногалерейний вугільний склад с перевантажувачем (прогін 76,2 м):
 1 – вагоноперекидач; 2, 3 – реверсивні конвеєри; 4 – поворотно-пересувний штабелер;
 5 – первинний штабель; 6 – навантажувач; 7 – конвеєр на вуглепідготовку

З них вугілля за допомогою мостового перевантажувача надходить на закладку основних штабелів. Вугілля зі складу надходить до приймального бункера навантажувача та конвеєром передається на вуглепідготовку.

Переваги: мала кількість конвеєрів; всі ділянки складу доступні для забору вугілля; невеликі капітальні витрати. Недоліки: ускладнення в одночасному прийманні та видачі вугілля зі складу; мала ємність за рівної площі у порівнянні з двохгалерейним складом.

Двохгалерейний вугільний склад (рис. 1.4) має дві лінії конвеєрів: одна (1, 2) призначена для приймання вугілля на склад та розташована в галереї вздовж складу на висоті 12-14 м; інша (5, 6) розташована в підземній галереї та призначена для подачі вугілля на вуглепідготовку.

Переваги: на двохгалерейному складі можна одночасно вести приймання та видачу вугілля; більша ємність за рівної площі у порівнянні з одногалерейним складом. Недоліки: великі капітальні витрати у порівнянні з одногалерейним складом; неповне сходження вугілля з первинних штабелів, що викликає необхідність використання бульдозеру або перевантажувача.

За будівництва складу його територію планують (вирівнюють) та ущільнюють дорожніми котками з підсипкою шару штибу (вугілля з розміром зерен менше 6 мм), золи або шлаку 150 мм завтовшки. На ущільнений ґрунт вкладають рейки грейферного мостового перевантажувача.

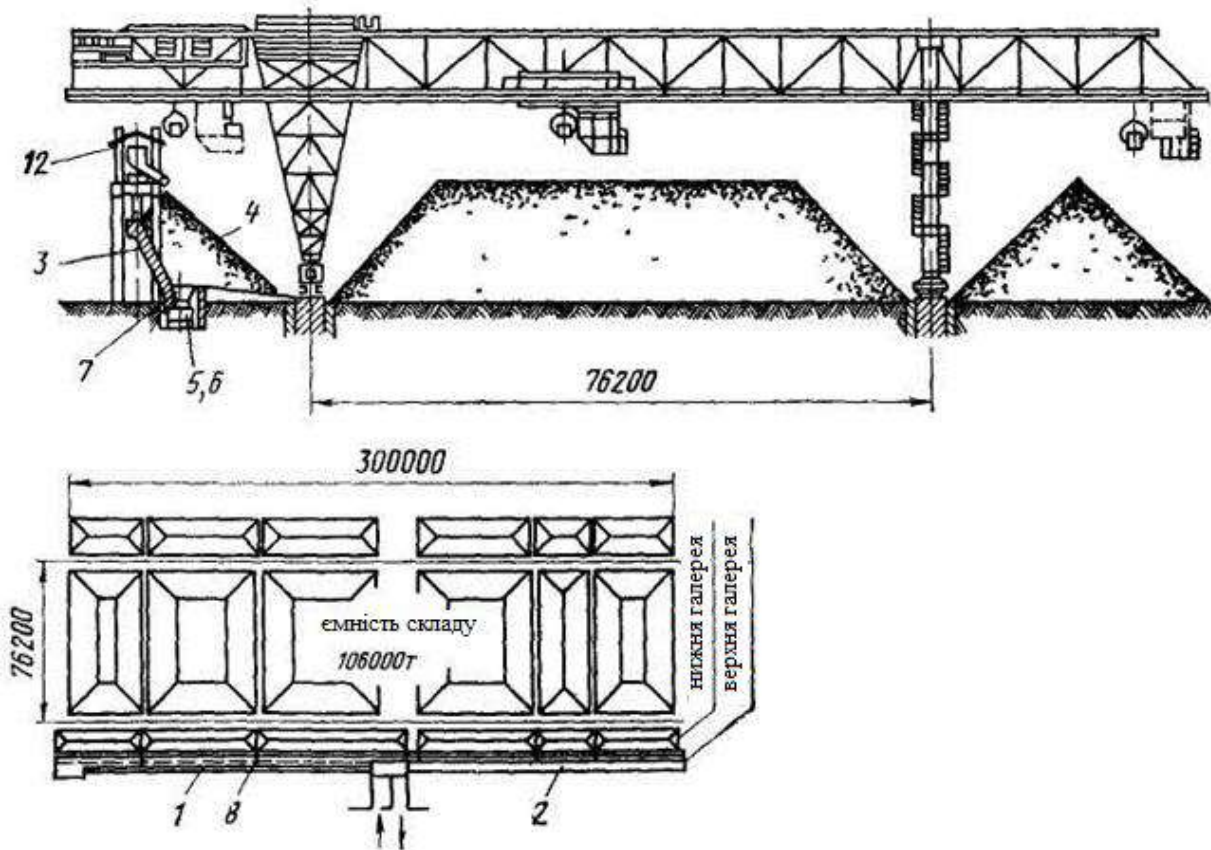


Рис. 1.4. Двогалерейний вугільний склад з мостовим перевантажувачем:
3 – залізобетонні похилі стіни; 4 – первинні штабелі; 7 – випускні воронки;
8 – залізобетонні перегородки

Ширина складу визначається довжиною прогону мосту перевантажувача та складає до 70-80 м. Довжину складу визначають, виходячи з його необхідної ємності, що визначається в залежності від відстані до постачальників і має складати за нормами п. 7.25 ПТЕ-2017 значення, наведені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Ємність вугільних складів за нормами п. 7.25 ПТЕ-2017

Відстань	До 150 км	151-300 км	301-1000	1001-2000	>2000 км
Запас, діб	4	5	7	8-10	10-14

Висота штабелів визначається висотою підйому грейфера мостового перевантажувача.

1.5 Закриті склади вугілля

До закритих складів вугілля входять бункери або силоси. Бункер – ємність у вигляді оболонки або коробки з воронкою знизу. Висота його не перевищує полуторного найбільшого поперечного розміру. Вищі ємності називають силосами.

Закриті склади (рис. 1.5) являють собою залізобетонні бункери, над якими встановлюють розподільчий стрічковий конвеєр продуктивністю 1800 т/годину з пересувним розвантажувальним візком.

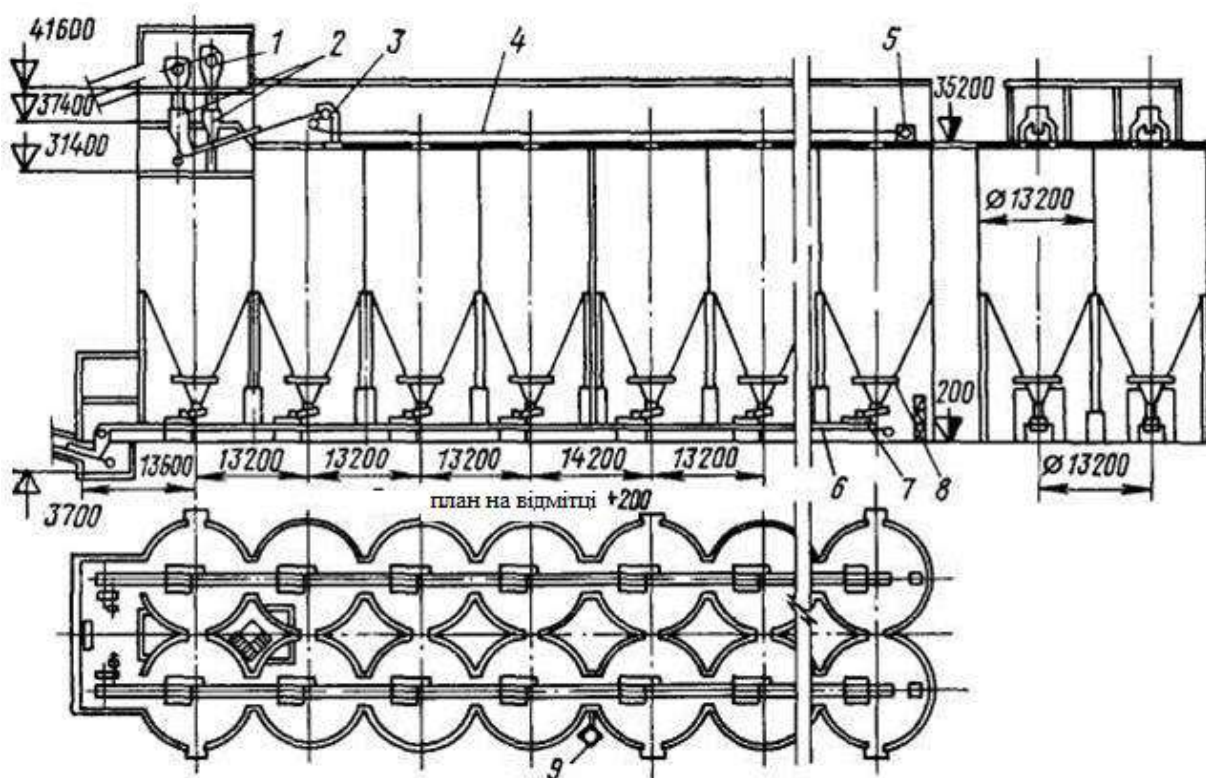


Рис. 1.5. Закритий склад вугілля: 1 – транзитний конвеєр:

2, 4 – складські конвеєри; 3 – розвантажувальний візок; 5 – жолоб; 6 – збірний конвеєр; 7 – автодозатор; 8 – пристрій для пневмообрушування вугілля; 9 – ресивер стисненого повітря

З бункерів вугілля за допомогою дозаторів випускається на збірний конвеєр, продуктивність якого має забезпечувати видачу добової потреби вугілля за 16-18 годин.

Склад закритого типу конструкції Гипрококсу складається з кількох секцій по вісім залізобетонних бункерів в кожному. Діаметр бункерів 10-13 м, висота 23-25 м, ємність 2000-2500 т. Кут нахилу утворюючої випускних воронки до горизонталі – 60-70°. Випускні воронки мають отвори діаметром 1,0-1,2 м.

Переваги закритих складів: компактність, механізація перевантажувальних операцій, захищеність вугілля від вітру, атмосферних опадів та відсутність втрат вугілля за перевантажень, можливість використання складу одночасно і як дозувального відділення.

Суттєвими недоліками цих складів є їх обмежена ємність, порівняно висока вартість та складність ліквідації в них вогнищ самозаймання вугілля. В останньому випадку необхідно бункер повністю розвантажувати. Тому необхідний ретельний контроль за станом вугілля.

Контрольні запитання.

1. Яке устаткування використовують для розвантаження прибулого вугілля на коксохімічних заводах?
2. Як визначити продуктивність вагоноперекидача?
3. Як розморожують прибуле вугілля взимку?
4. Які конвеєри використовують для транспортування вугілля на коксохімічному підприємстві, в чому полягають їх переваги та недоліки?
5. Які особливості одногогалерейних відкритих вугільних складів, в чому полягають їх переваги та недоліки?
6. Які особливості двохгалерейних відкритих вугільних складів, в чому полягають їх переваги та недоліки?
7. Які особливості закритих вугільних складів, в чому полягають їх переваги та недоліки?

Перелік джерел до 1-го розділу

1. ПТЕ-2017 Правила технічної експлуатації коксохімічних підприємств. – Харків: ДП «Гипрококс», 2018. – 283 с.
2. Лейбович Р. Е. Технология коксохимического производства / Р. Е. Лейбович, Е. И. Яковлева, А. Б. Филатов. – Москва : Металлургия, 1982. – 340 с.
3. Ткачев В. С. Оборудование коксохимических заводов / В. С. Ткачев, М. А. Остапенко – Москва : Металлургия, 1983. – 360 с.
4. Справочник коксохимика. – 3-е изд. Т. 1. Угли для коксования. Обогащение углей. Подготовка углей к коксованию // Гл. 22. Деменко В. В. Прием и разгрузка углей. Гл. 23. Радченко В. В. Складирование углей – Харьков: ИД ИНЖЭК, 2010. – С. 365-411.

2. УСТАТКУВАННЯ ВУГЛЕЗБАГАЧУВАЛЬНИХ ФАБРИК

2.1 Устаткування для класифікації вугілля за крупністю

Класифікація (розділення) вугілля за крупністю застосовується за їх підготовки до збагачення, оскільки крупне та дрібне вугілля збагачуються роздільно. За підготовки збагачених вугілля та шихт до коксування класифікація їх за крупністю корисна при підготовці до подрібнення, оскільки дозволяє реалізувати на практиці основоположний принцип «Не подрібнювати нічого зайвого», зменшити кількість дробарок, знизити навантаження на них, зекономити електроенергію, запобігти зайвому подрібненню вугілля, що погіршує їх технологічні властивості та ускладнює експлуатацію коксових батарей.

Класифікацію здійснюють на механічних та гідравлічних грохотах. Головні типи *механічних грохотів*, застосовувані для класифікації вугілля:

1. Хиткі з поздовжніми качаннями коробу під кутом до площини сита (рис. 2.1).

2. Вібраційні з коловими вібраціями коробу у вертикальній площині (рис. 2.2).

3. Гіраційні (пів-вібраційні) з коловими качаннями коробу у вертикальній площині (рис. 2.3).

4. Резонансні з поздовжніми качаннями коробів під кутом до площини сит з резонансним налаштуванням сполучених рухомих мас (рис. 2.4).

Як просіювальну робочу поверхню використовують дротові, ткані, щілинні сита, сталеві перфоровані решета, колосникові решітки. Добре зарекомендували себе гумові перфоровані сита.

Гідравлічна класифікація. Механізація видобутку вугілля призводить до збільшення вмісту в ньому дрібних класів, а зрошення вугілля для пилопригнічення в забоях та місцях відвантаження пов'язане зі збільшенням вологості, особливо дрібних класів. Це в свою чергу ускладнює застосування засобів механічної класифікації вугілля.

За класифікації вугілля на гідрогрохоті усувається запиленість середовища, збільшується продуктивність, відбувається точніша класифікація вугілля.

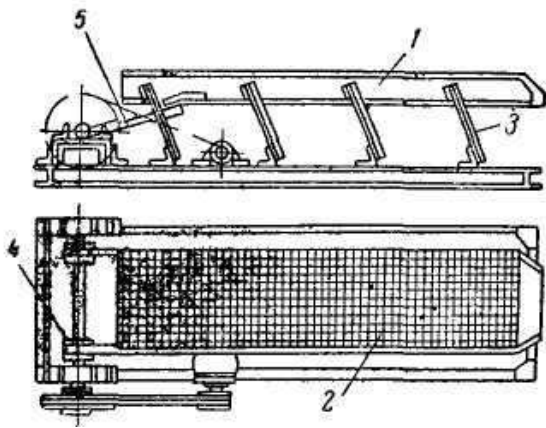


Рис. 2.1. Плоский хиткий грохот на пружних опорах:
 1 – короб; 2 – сито; 3 – пружний стрижень; 4 – ексцентрик;
 5 – шатун

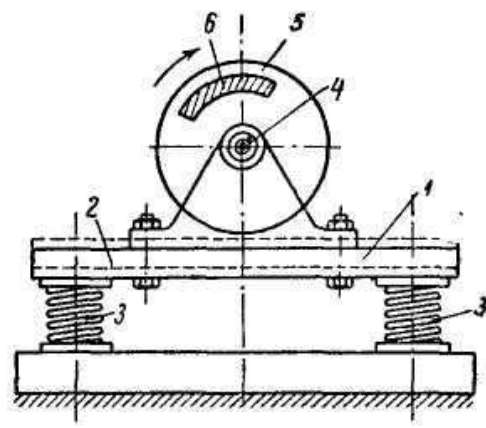


Рис. 2.2. Вібраційний (інерційний) грохот:
 1 – короб; 2 – сито; 3 – пружини;
 4 – вал; 5 – шків; 6 – невірноважений вантаж (дебаланс)

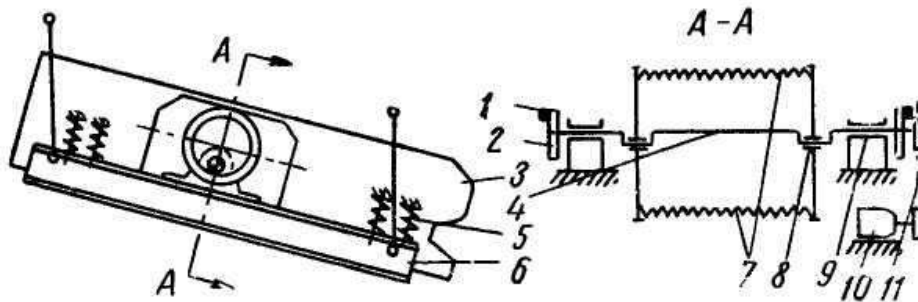


Рис. 2. Грохот гіраційний важкого типу ГГТ-72-1:
 1 – противовага; 2 – маховик; 3 – короб; 4 – вал; 5 – амортизатор; 6 – рама; 7 – сита; 8 – підшипник коробки; 9 – корінний підшипник; 10 – електродвигун;
 11 – пасова передача

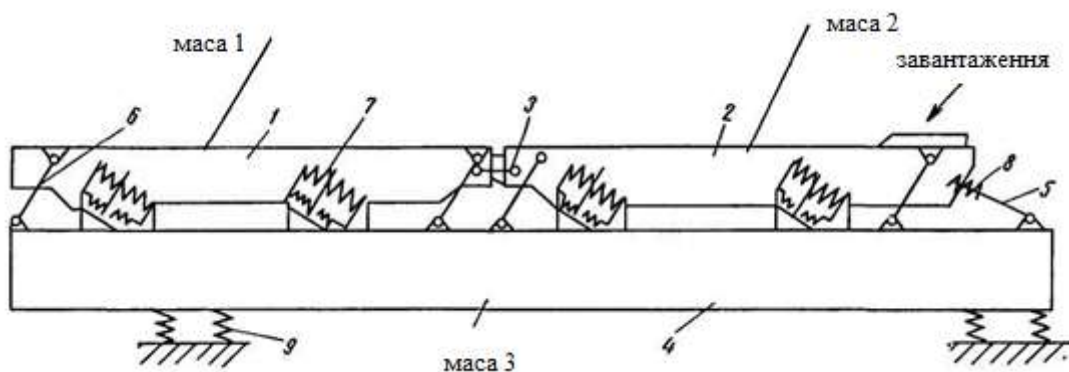


Рис. 2.4. Схема резонансного зневоднювального грохоту ГРО-1:
 1, 2 – коробка; 3 – сполучувальна ланка; 4 – рама; 5 – привід; 6 – стійка;
 7 – підвіски; 8 – шатун; 9 – амортизатори

В нерухомому гідравлічному грохоті водовугільна суміш надходить на розсіювальну поверхню, потрапляючи під струмені води із сопел. Під дією струменів води шар вугілля на колосникових ситах розпушується. Вода проходить крізь сито, захоплюючи за собою зерна вугілля розміром менше ширини щілини до підрешітного продукту, що надходить у піддон.

Технічна характеристика гідро-грохоту:

- продуктивність за вугіллям – до 800 т/год;
- площа робочої поверхні колосникових сит – 2,9-4,0 м²;
- розмір щілин колосникових сит – 10-13 мм;
- кут нахилу просіювальної поверхні – 14-16 °;
- питома витрата води – 2 м³/т вугілля.

2.2 Відсадні машини

Відсадкою називається процес розділення суміші зерен за густинами в турбулентному водному потоці, що коливається у вертикальному напрямі із заданими амплітудою та частотою.

Внаслідок дії змінних за напрямком струменів води відбувається розділення збагачуваного матеріалу на важкий продукт, що концентрується в нижніх шарах, та легкий продукт, що піднімається до верхніх шарів. Збагаченню відсадкою піддають вугілля крупністю від 0,5 до 125 мм. На частку відсадки припадає близько 50 % збагачуваного вугілля.

В застосовуваних на збагачувальних фабриках безпоршневих відсадних машинах висхідний та низхідний струмені води утворюються під дією стисненого повітря, що поперемінно надходить та випускається крізь спеціальну повітряну камеру. Процес у відсадній машині йде безперервно. До неї подають задану кількість вугілля та відводять продукти збагачення.

Відсадні машини відрізняються різною кількістю ступенів. В одноступінчастій машині виділяють лише два кінцевих продукти – легший концентрат (збагачене вугілля) та важчі відходи (породу). В двоступінчастих машинах ще виділяють проміжний продукт зольністю 20-25 % (енергетичне паливо), а в тріступінчастих, крім того, найважчу складову – пірит FeS₂ – сировину для виробництва сірчаної кислоти, обважнювач за збагачення вугілля у важких середовищах.

В двоступінчастій відсадній машині (рис. 2.5) вугілля з водою жолобом 1 надходить на початок решета першого ступеня. Під дією пульсацій та горизонтального потоку води вугілля рівним шаром розподіляється площею решета, утворюючи «постіль» та просуваючись до середнього порогу 2. Нижній

породний шар, досягши цього порогу, крізь щілину 3 видаляється з машини до елеватору 7.

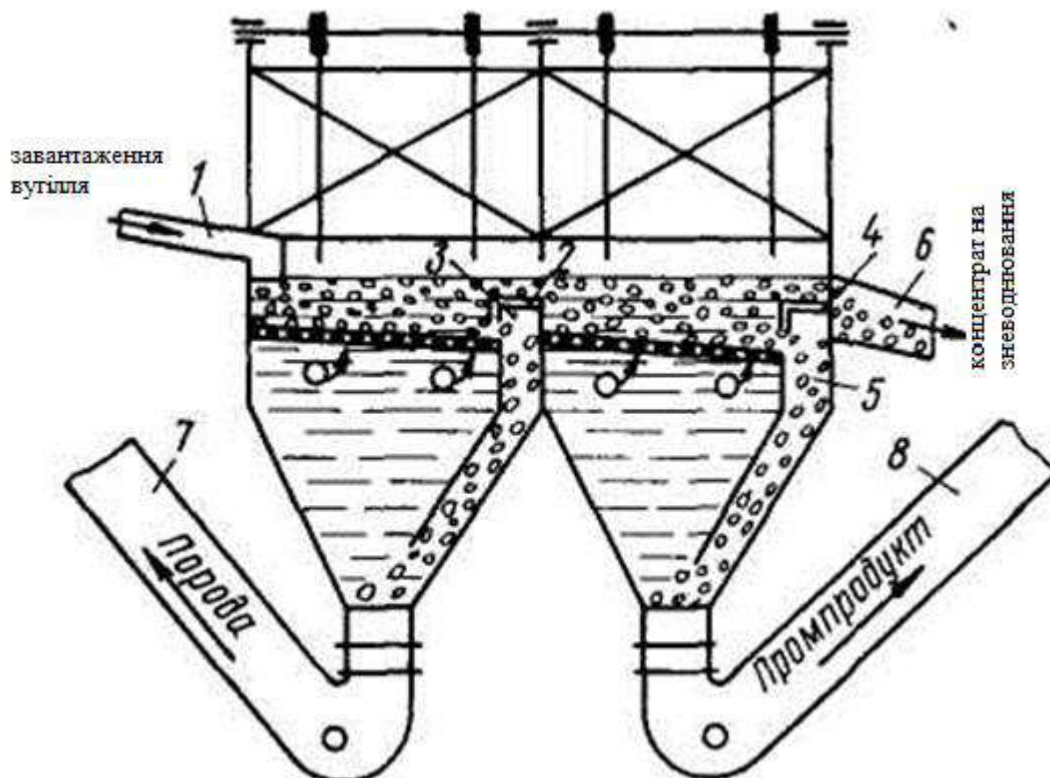


Рис. 2.5. Схема дії двоступінчастої відсадної машини

Промпродукт та вугілля потоком води виносяться крізь поріг 2 до другого ступеню машини. Тут на решеті також утворюється постіль, в нижньому шарі якої розташовується промпродукт, а в верхній – концентрат. Нижній шар промпродукту, досягши порогу 4, крізь щілину 5 видаляється з машини до елеватору 8. Концентрат потоком води зноситься крізь поріг 4 до жолобу 6 та надходить на зневоднення.

Відсадні машини для дрібного вугілля конструктивно виконані так само, як і для крупного, але вони часто працюють із штучною постіллю. В цьому випадку на решето машини засипають польовий шпат $\text{SiO}_2 \times x\text{Al}_2\text{O}_3 \times y\text{Na}_2\text{O} \times z\text{K}_2\text{O} \times u\text{CaO} \times v\text{BaO}$ певної крупності. Породні частки проникають крізь постіль до сита та через його отвори розвантажуються до нижньої частини машини. Так само розвантажуються і промпродукт з другого ступеню. В цьому випадку щілини у порогів машини закриті шиберами.

Розроблені уніфіковані відсадні машини трьох типорозмірів ОМ-8, ОМ-12 та ОМ-18, призначені для збагачення вугілля крупністю 0,5-13 мм, 0,5-125 мм та 13-125 мм різної збагачуваності.

2.3 Сепаратори для збагачення вугілля у важких середовищах

Збагачення вугілля у важких середовищах ґрунтується на розділенні його компонентів за густиною. Якщо рідина за густиною займає проміжне положення між легкими та важкими частками вугілля, то відбудеться його розділення на складові компоненти. Важчі частки потонуть, а легші спливають на поверхню рідини.

Важкими середовищами можуть бути органічні рідини (тетрахлорметан, бромформ), розчини солей (хлориду цинку), суспензії.

В промисловості найбільш розповсюдженими є мінеральні суспензії – зваги у воді тонкоподрібнених (менше 0,1 мм) мінеральних часток. Як обважнювач застосовують пірит FeS_2 , магнетит Fe_3O_4 , барит BaSO_4 тощо.

Для збагачення вугілля в мінеральних суспензіях застосовують спеціальні апарати – сепаратори. Вони можуть бути колісні та конусні.

До колісних відносяться сепаратори СК з похилим елеваторним колесом (рис. 2.6) та СКВ з вертикальним колесом. Колісний сепаратор складається з ванни, утвореної двома похилими під кутом 45° взаємно перпендикулярними стінками.

На правій стінці на вісі обертається лопатеве колесо, яке виносить потонулий продукт. Видалення продукту, що спливає, здійснюється горизонтальним потоком суспензії. Початкове живлення надходить до ванни сепаратору всією її шириною, туди ж подають транспортуючий потік суспензії. Вихідний потік її надходить крізь нижній патрубок корпусу.

Циліндро-конічний сепаратор конструкції В.Я. Топоркова (ДП «УХІН») з центральним живленням наведена на рис. 2.7.

Таблиця 2.1 – Технічна характеристика колісних сепараторів

Показники та одиниці виміру	СКВ-20	СКВ-32
Продуктивність за живленням, т/годину	160	380
Продуктивність за породою, т/годину	До 150	До 200
Ширина ванни, мм	2000	3200
Об'єм суспензії, м ³	8	18
Маса сепаратору, т	16,5	29,9

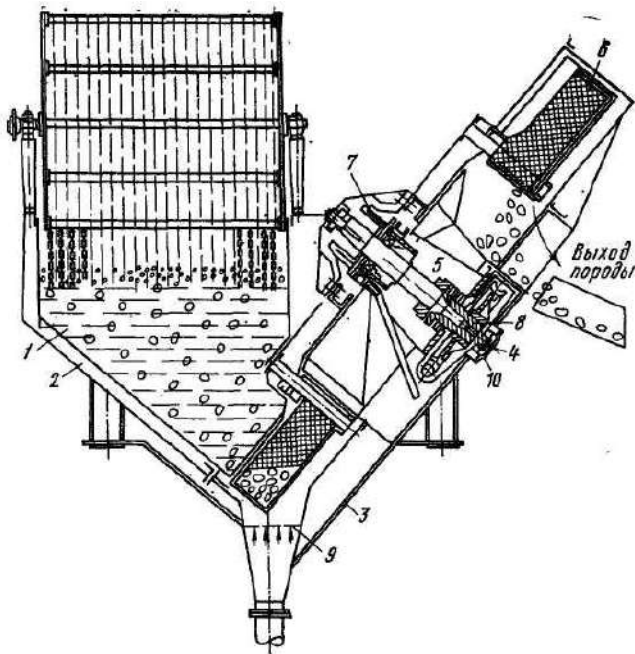


Рис. 2.6. Колісний сепаратор для збагачення вугілля у важких середовищах:

1 – ванна; 2, 3 – стінки ванни; 4 – вісь колеса; 5 – лопатне колесо; 6 – лопаті; 7, 8 – підшипники; 9 – сопло для подачі суспензії; 10 – черв'ячний привід

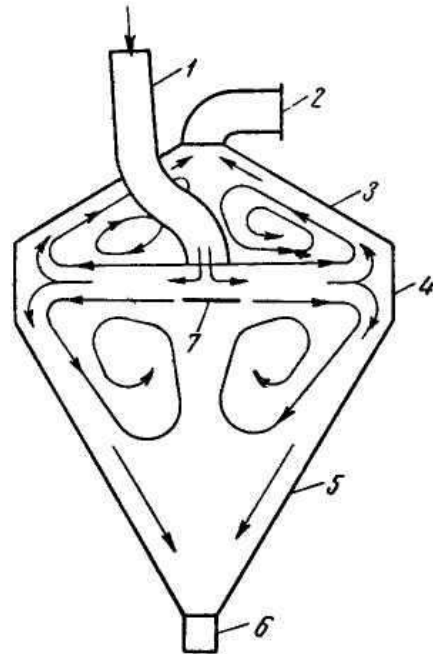


Рис. 2.7. Сепаратор циліндро-конічний з центральним живленням:

1 – живильна труба; 2 – зливна труба; 3 – верхній конус; 4 – циліндрична обечайка; 5 – нижній конус; 6 – патрубок; 7 – розподільчий диск

2.4 Сепаратори з відцентровим полем

Зі зменшенням розміру часток вугілля та різниці густин цих часток в суспензії різко зменшується швидкість їх переміщення у важких середовищах. Підвищення швидкості падіння зерен вугілля в суспензії можливе за використання відцентрової сили.

Для дрібного вугілля (до 1,0-1,5 мм) застосовують гідроциклони-сепаратори без обважнювача (рис. 2.8). В них роль обважнювача виконують самі збагачувані зерна.

Водовугільна пульпа надходить в циліндричну або конічну нерухому посудину з великою швидкістю. Внаслідок обертального руху важкі частки шламу відцентровою силою відкидаються до стінок камери, спускаються ними донизу та виводяться крізь розвантажувальний патрубок. Для випуску та регулювання нижнього продукту встановлюють змінні насадки. Концентрат або освітлена вода витікають під напором крізь зливну трубу в центрі осаджувальної камери.

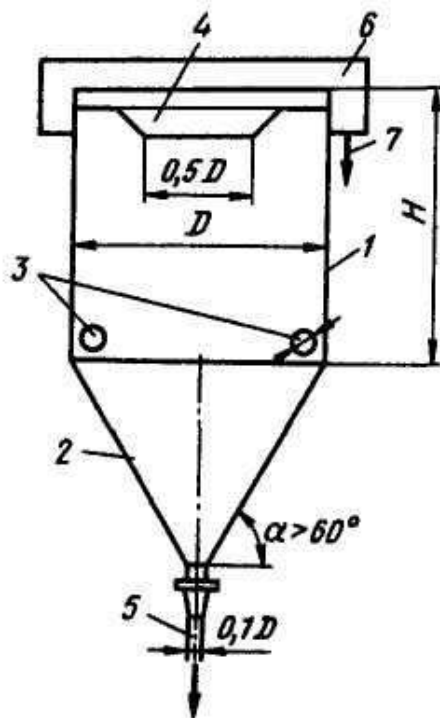


Рис. 2.8. Гідроциклон:

1 – корпус; 2 – конічне дно; 3 – впускні патрубки; 4 – діафрагма; 5 – насадка для відводу шламової пульпи; 6 – кільцевий лоток; 7 – відвід освітленої води

2.5 Флотаційні машини

В залежності від способу аерації пульпи флотаційні машини поділяють на механічні, пневматичні та комбіновані – пневмомеханічні. На вуглезбагачувальних фабриках найбільше застосування знайшли механічні флотаційні машини (рис. 2.9).

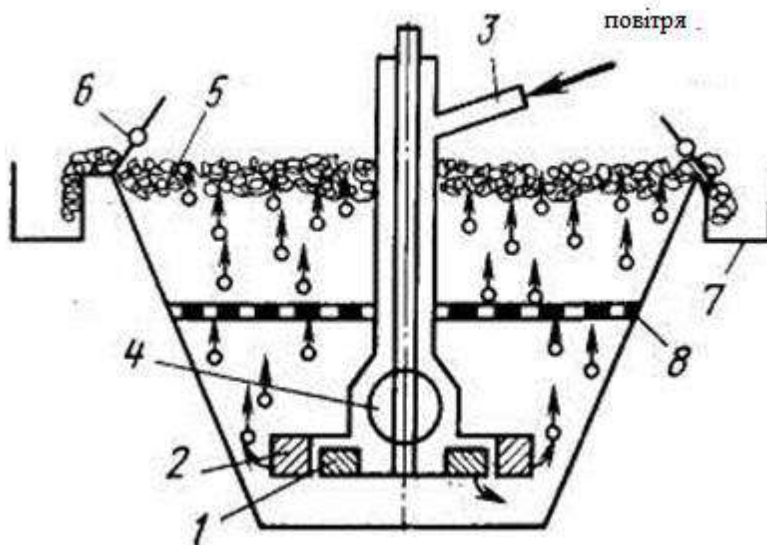


Рис. 2.9. Механічна флотаційна машина

Аерація та перемішування підготовленої пульпи здійснюються імпелером 1 з електроприводом. За обертання імпелеру за його лопатками в пульпі утворюється розріджений простір, куди трубою 3 засмоктується атмосферне повітря. Пульпа надходить до порожнини імпелера з труби 4. Насичена повітрям пульпа викидається потоком повітря на лопатки статору 2, а потім – в камеру машини. Тут відбувається прилипання часток вугілля до пухирців повітря (мініралізація пухирців) та спливання їх на поверхню камери, де утворюється пінний шар 5, який видаляють пінозбірниками 6 до жолобів 7. Для стійкого накопичення та відстоювання піни поверхня пульпи в камері має бути за можливості спокійною, без збурень та вихорів, створюваних за обертання імпелеру. Для заспокоювання пульпи в камерах флотомашин встановлюють решітки.

На вуглезбагачувальних фабриках застосовують машини конструкції Гипрококсу та Діпровуглемашу ФМ-40, Гипрококс-ХГІ-57, ФМУ-63-2 тощо.

Модернізована флотаційна машина ФМУ-50 з аератором АЛТ-630 має наступну технічну характеристику: об'єм камери 5 м³, продуктивність за пульпою до 400 м³/год, за твердим продуктом 40-48 т/год, питома продуктивність 1,8 т/(м³×год).

2.6 Центрифуги

На вуглезбагачувальних фабриках для зневоднення флотоконцентрату відсадних машин дрібного вугілля та вугільних шламів застосовують безперервно діючі вертикальні центрифуги зі шнековим вивантаженням осаду (рис. 2.10).

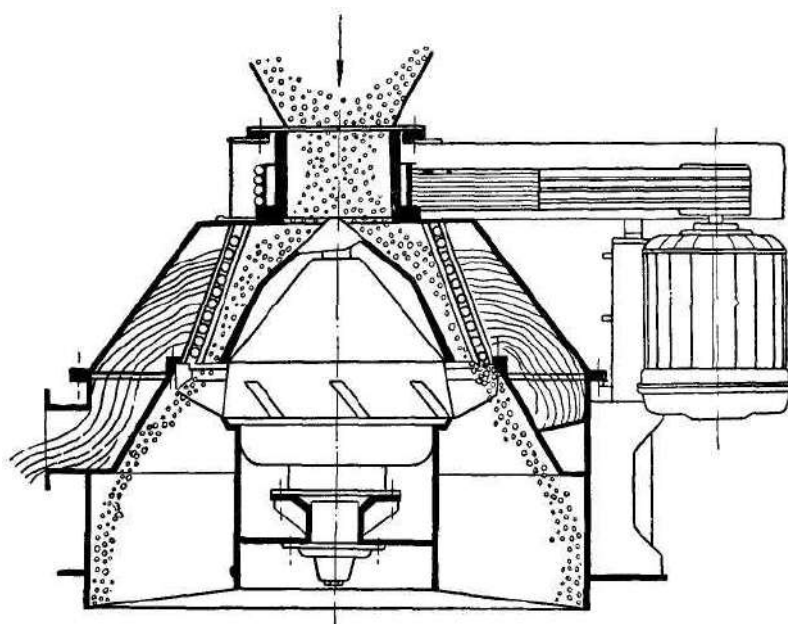


Рис. 2.10. Безперервно діюча вертикальна центрифуга зі шнековим вивантаженням осаду

Разом з центрифугою типу ВШП-92 застосовують досконаліші центрифуги типу НВШ-1000 (безперервно діюча вертикальна шнекова). Середня вологість зневодненого вугілля після центрифуги НВШ-1000 за продуктивності 100 т/год складає 7-8 % за початкової вологості 20-25 %.

Центрифуга НВВ-1000 (безперервно діюча, вертикальна, вібраційна з діаметром ротору 1000 мм) менше подрібнює вугілля, при цьому досягається менший винос твердих часток з фугатом, ніж за роботи шнекових центрифуг (рис. 2.11).

На центрифугі ЦВП-1100 конічний ротор встановлений більшим діаметром донизу (рис. 2.12). Таке розташування ротору забезпечує прямоочний рух матеріалу, що зневоднюється. Продуктивність центрифуги до 100 т/год за твердою фазою, вологість осаду 8-9 %.

Продуктивність центрифуги ВГ-1320 становить 250 т/год.

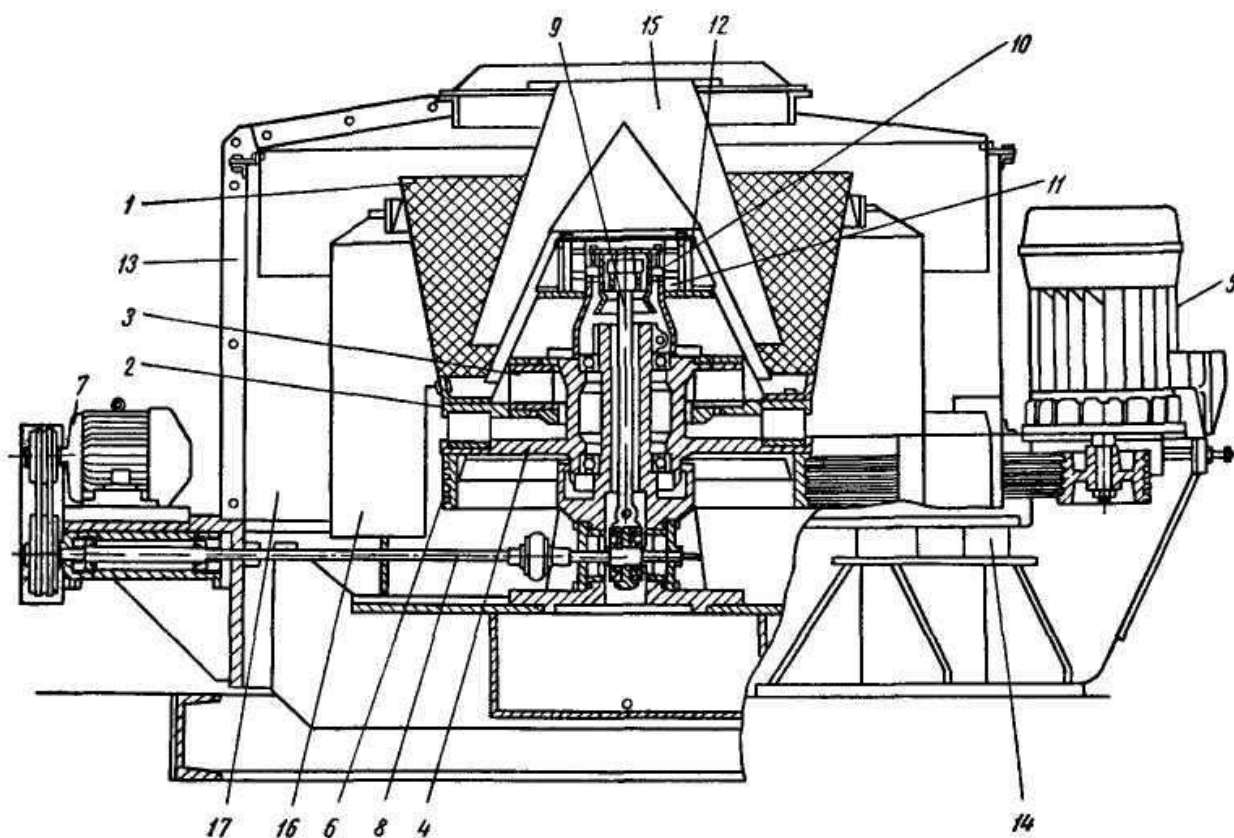


Рис. 2.11. Центрифуга з вертикальним вібруючим ротором НВВ-1000:

1 – ротор центрифуги; 2 – плита; 3 – гумові буфера на роторі; 4 – стакан; 5 – електродвигун ротору; 6 – привідний шків ротору; 7 – електродвигун валу-вібратору; 8 – вал-вібратор; 9 – шатун; 10 – вібруюча плита; 11 – кільцеві буфера; 12 – голівка ротору; 13 – кожух центрифуги; 14 – гумові буфера на фундаменті; 15 – живильна воронка; 16 – кільцевий жолоб; 17 – кільцева камера для зневодненого продукту

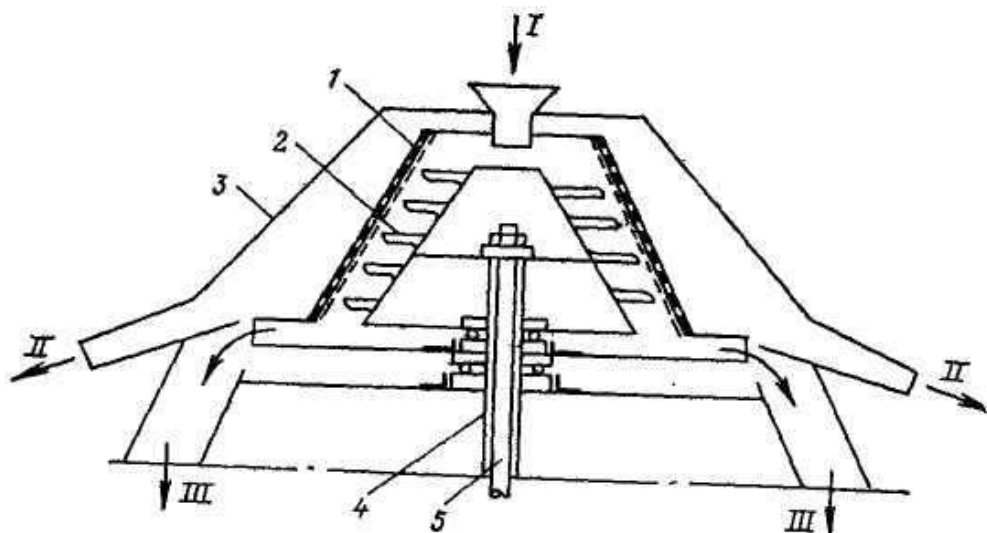


Рис. 2.12. Безперервно діюча вертикальна фільтруюча центрифуга:
 1 – барабан; 2 – гальмівний шнек; 3 – кожух; 4 – порожній вал барабану; 5 – вал шнеку; I – суспензія; II – фільтрат; III – осад

На збагачувальних фабриках України працюють також польські шнекові фільтруючі центрифуги «Наель». Продуктивність центрифуги «Наель-2» становить 30-40 т/год, вологість зневодненого концентрату – 8 %. Продуктивність центрифуги «Наель-3» – 100 т/год.

2.7 Фільтри

На вуглезбагачувальних фабриках застосовуються багатодискові вакуум-фільтри ДУ-68-2,5М, ДУ-80-3,75 «Україна», ДУ-140-3,5У «Гірник», ДУ 250-3,75. Головними вузлами вакуум-фільтру «Україна» (рис. 2.13) є горизонтальний вал з поздовжніми каналами, розподільча голівка, диски та ванна.

Диски складаються із секторів, обтягнутих сіткою з отворами 0,2-0,3 мм, та за допомогою розподільчої голівки через канали можуть почергово підключатись або до вакууму, або до лінії підвищеного тиску. Як матеріал для фільтруючої сітки використовують неіржавіючу сталь, фосфористу бронзу, капронове $[-CO-(CH_2)-NH-]_n$ та поліпропіленове $[-CH_2-CH(CH_3)-]_n$ волокна діаметром 0,3 мм. Кількість отворів складає 400-1600 на 1 см².

Технічна характеристика дискових вакуум-фільтрів представлена в табл. 2.2.

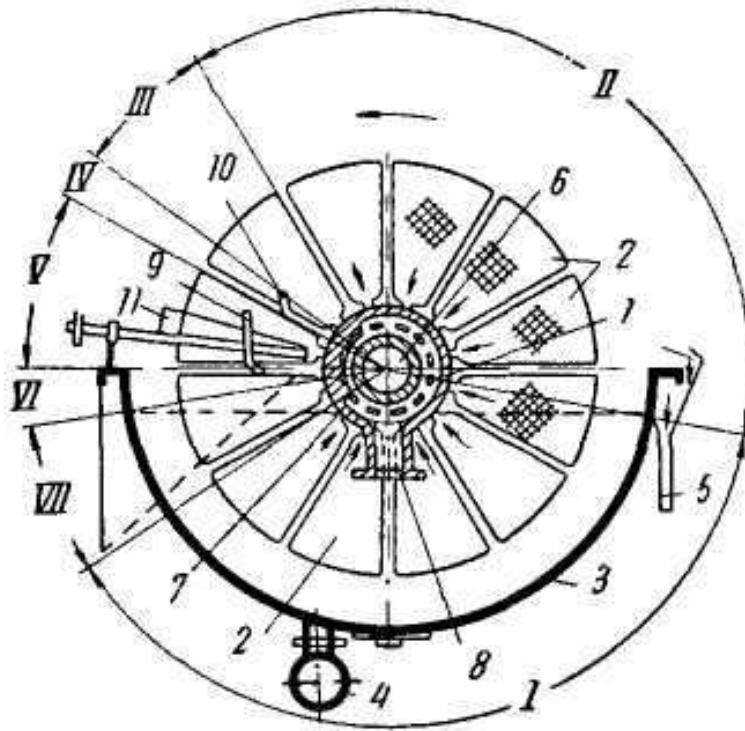


Рис. 2.13. Зональна схема роботи дискового вакуум-фільтру:
 1 – поздовжні канали; 2 – сектори; 3 – ванна; 4 – шламопровід; 5 – жолоб;
 6 – вал; 7 – розподільча голівка; 8 – патрубок; 9, 10 – лінії стисненого повітря;
 I – осадження; II – підсушка; III, VII – мертві зони; IV – віддувка осаду;
 V – зняття осаду; VI – регенерація

Таблиця 2.2 – Технічна характеристика дискових вакуум-фільтрів

Показники та одиниці виміру	Україна	Гірник
Фільтруюча поверхня, м ²	80	140
Діаметр дисків, м	2,7	3,5
Кількість секторів в диску	12	18
Швидкість обертання дисків, об/годину	10-60	40-150
Продуктивність за сухим залишком, т/годину	20-30	36-40
Вологість осаду, %	23,6	23,0

2.8 Сушарки для продуктів збагачення

Найбільш поширеними є барабанні сушарки (рис. 2.14), що виготовляє ПАТ «Прогрес» (м. Бердичів Житомирської обл.).

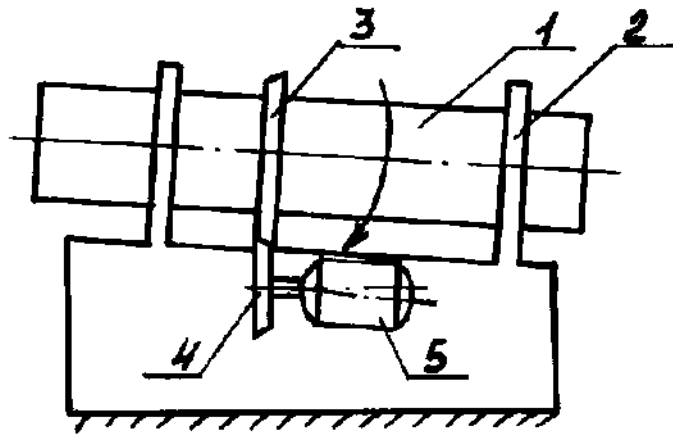


Рис. 2.14 Барабанна сушарка

1 – барабан, 2 – опорні бандажі; 3 – зубчастий вінець; 4 – шестерня; 5 – привід

Барабан встановлюється під кутом 3-5 ° до горизонталі. Технічна характеристика барабанних сушарок представлена в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Технічна характеристика барабанних сушарок

Показники та одиниці виміру	ПВ-2,8	ПВ-3,5
Діаметр, мм	2800	3500
Довжина, м	14	22-28
Швидкість обертання барабану, об/хв.	5	5-7,5
Продуктивність по вихідному вугіллю, т/годину	50	200-280
Питома об'ємна продуктивність (напруга) барабану за вологою, кг/(м ³ ·годину)	90	100-140

Температура газів перед барабаном 750-820 °С, після барабану 100-110 °С. Вологість матеріалу: початкова 24-26 %, кінцева 7-12 %. Час перебування вугілля в сушарці 10-40 хв. Коефіцієнт заповнення об'єму барабану 0,15-0,25.

Переваги барабанних сушарок: можливість зміни технологічних параметрів процесу; простота і надійність в експлуатації; невелика витрата електроенергії; можливість сушки вугільних концентратів різної крупності.

Недоліки: зміна властивостей вугілля внаслідок протікання термохімічних процесів (зниження індексу спучування та товщини пластичного шару на 1-2 мм, виходу летких речовин на 0,4-0,5 %); залипання насадки; утворення великої кількості комків; низький коефіцієнт використання робочого об'єму; великі розміри; металоємність; складність виготовлення; високі капітальні витрати.

В сушарках з *кипучим шаром* досягаються у порівнянні з барабанними сушарками кращі показники тепло- та масообміну внаслідок безперервного руху та

перемішування часток і високої активної поверхні контакту зерен матеріалу і газоподібного теплоносія. Основні показники роботи сушарок з киплячим шаром:

- висота кипучого шару вугілля – 600-1000 мм;
- вологість, %:
- вихідного вугілля – 12-22;
- підсушеного вугілля – 7,0-8,5;
- температура, °С: під решіткою – 420-620; над решіткою – 55-95;
- надлишковий тиск під решіткою – 3,0-4,5 кПа;
- питома витрата теплоносія – 6500-12000 м³/(м²·годину);
- витрата тепла на випаровування вологи – 3200-4200 кДж/кг.

Недоліки сушарок з кипучим шаром: необхідність використання вугілля з обмеженнями як за верхнім, так і за нижнім розмірами зерен; значний винос вугілля; малий коефіцієнт використання робочого об'єму; великі розміри апаратів.

Труби-сушарки застосовують на вуглезбагачувальних фабриках для сушки дрібного концентрату. Вони являють собою вертикальні труби діаметром 650-1100 мм, довжиною 14-35 м, крізь які проходять знизу догори гарячі гази зі швидкістю 10-40 м/с. Висушуваний матеріал, знаходячись у трубі в зваженому стані, підхоплюється газовим потоком. Для цього швидкість руху газів має бути більшою за швидкість витання найкрупніших часток висушуваного матеріалу. Питома об'ємна продуктивність за вологою складає 400-900 кг/(м³·год). Така висока продуктивність є головною перевагою труби-сушарки.

Недоліки труби-сушарки: малий коефіцієнт використання об'єму; велика висота сушарки; інтенсивний абразивний знос устаткування; значний винос вугілля з отримуваним газом; неможливість сушки крупного вугілля та складність розсіву вологого вугілля.

Контрольні запитання.

1. Навіщо треба класифікувати вугілля за крупністю?
2. Яке устаткування використовується для сухої класифікації угілля за крупністю?
3. В чому переваги гідравлічної класифікації вугілля за крупністю?
4. Як улаштовані та як працюють відсадні машини?
5. Як улаштовані та як працюють сепаратори для збагачення вугілля у важких середовищах?
6. В чому полягають особливості сепараторів з відцентровим полем та для якого вугілля їх доцільно застосовувати?
7. Як улаштовані та як працюють флотаційні машини?
8. Як улаштовані та як працюють вугільні центрифуги?

9. Як улаштовані та як працюють вугільні фільтри?
10. Як улаштовані та як працюють барабанні сушарки, в чому полягають їх переваги та недоліки?
11. Як улаштовані та як працюють сушарки з кипучим шаром, в чому полягають їх переваги та недоліки?
12. Як улаштовані та як працюють труби-сушарки, в чому полягають їх переваги та недоліки?

Перелік джерел до 2-го розділу

1. Никитин И. Н. Обогащение углей // Справочник коксохимика. – 3-е изд. Т. 1. Угли для коксования. Обогащение углей. Подготовка углей к коксованию / И. Н.Никитин, Н. И. Никитин, Ю. Л. Папушин. – Харьков: ИД ИНЖЭК, 2010. – С. 175-362.
2. Лейбович Р. Е. Технология коксохимического производства / Р. Е. Лейбович, Е. И. Яковлева, А. Б. Филатов. – Москва : Металлургия, 1982. – 340 с.
3. Ткачев В.С. Оборудование коксохимических заводов / В. С. Ткачев, М. А. Остапенко – Москва : Металлургия, 1983. – 360 с.

3. УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ ПРИГОТУВАННЯ ВУГІЛЬНОЇ ШИХТИ

3.1 Конструкції та робота дозаторів

На коксохімічних підприємствах застосовуються кілька типів дозувальних пристроїв.

Хиткий живильник є прямокутним лотком, що отримує змінний зворотно-поступальний рух від шатунно-кривошипного механізму. Завдяки руху лотка вугілля пересувається живильником та зсипається на конвеєр. Для кращого сходження вугілля живильник встановлюють похило під кутом 5-9° до горизонталі.

Найбільше розповсюдження отримав підвісний хиткий живильник, конструкція якого показана на рис. 3.1.

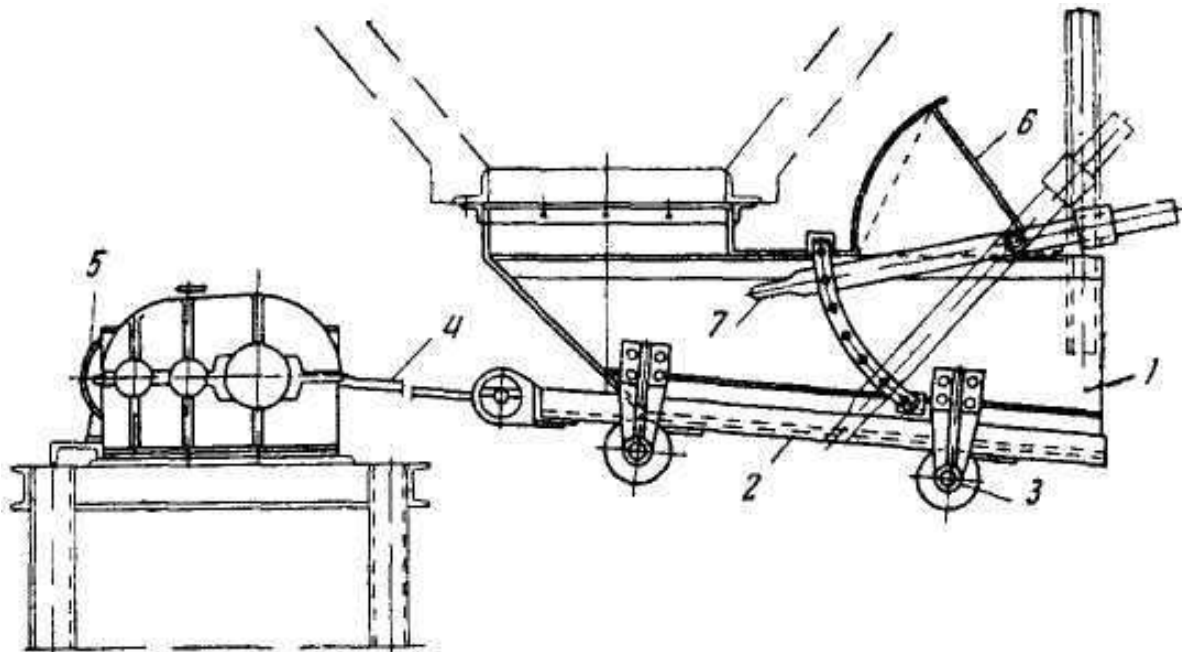


Рис. 3.1. Підвісний хиткий живильник

Живильник складається з нерухомого корпусу 1, прикріпленого до бункеру, похилого рухомого лотка 2, опертого на ролики 3, шатунно-кривошипного механізму 4, що надає лотку зворотно-поступальний рух, з приводом 5. Кількість матеріалу, що надходить на живильник, регулюють секторним затвором 6, який пересувається за допомогою рукоятки 7 або зміною ходу та числа качань лотку. Живильник підвішують до бункерної воронки, а електродвигун та редуктор приводу встановлюють на окремій металоконструкції. Недоліком хиткого живильника є мала точність дозування.

Стрічковий дозувальний живильник (рис. 3.2) має два регулювальних пристосування.

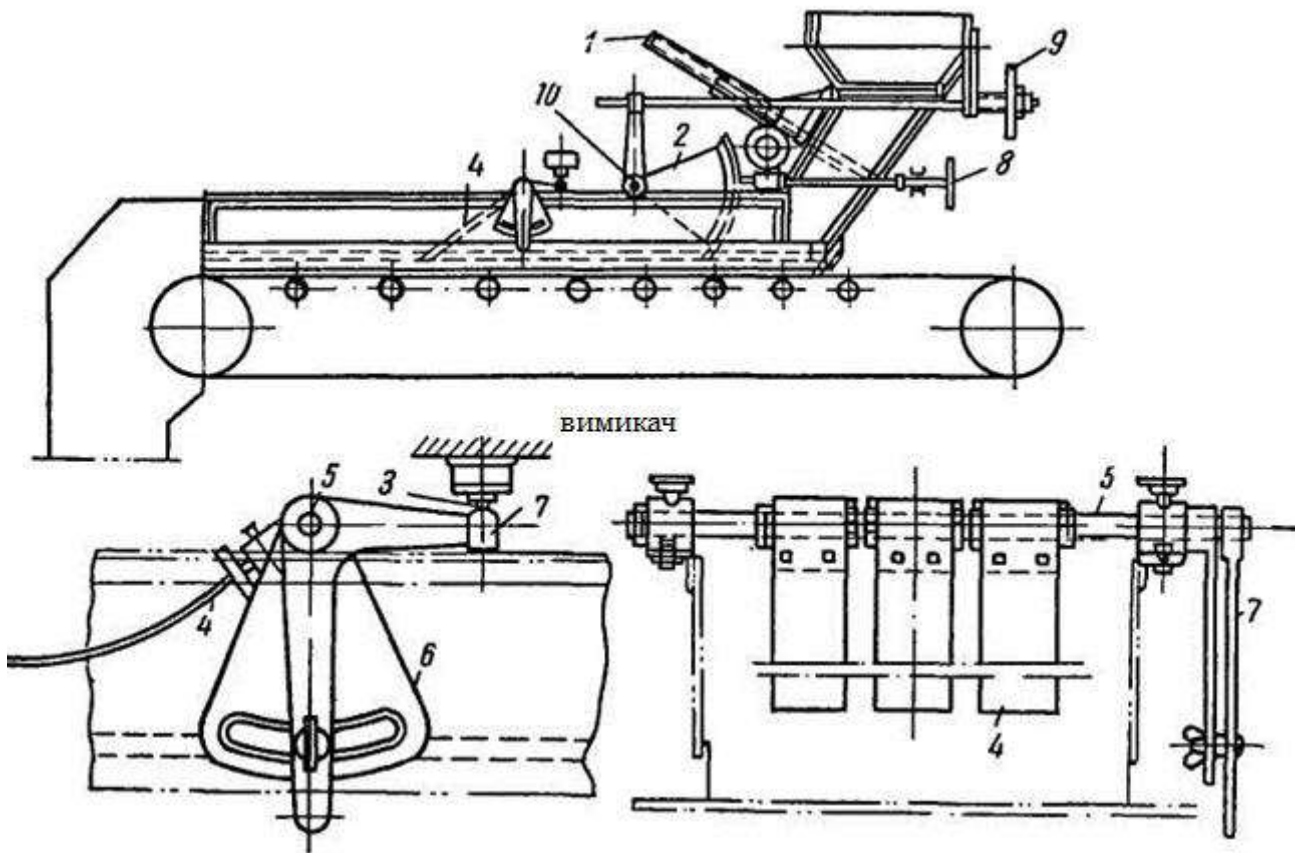


Рис. 3.2. Стрічковий дозувальний живильник

Шибер 1 встановлений в жолобі, прикріпленому до бункеру, та може пересуватись за допомогою черв'ячної та рейкової передач або вручну штурвалом 8.

Секторний затвор 2 встановлений на кожусі живильника та за допомогою важелів, що приводяться до руху вручну штурвалом 9, може обертатись коло осі 10 та збільшувати або зменшувати висоту вугільного потоку.

При подачі вугілля за допомогою живильника здійснюють попереднє регулювання за допомогою шибера, а точне – секторним затвором.

На кожусі живильника є вісь 5, на якій жорстко закріплені лопатки 4 та сегмент 6. Лопатки лежать на поверхні вугільного потоку, що проходить стрічкою. За пониження рівня вугілля лопатки опускаються, повертаючи одночасно сегмент 6 та пов'язаний з ним важіль 7, який, натискаючи на кнопку вимикача 3, розмикає електричне коло електродвигуна дозувальних живильників. Таким чином, за зменшення подачі вугілля проти заданої кількості живильник автоматично зупиняється та зупиняє всі інші дозувальні

живильники. Задане положення лопаток регулюється шляхом переміщення точки кріплення важеля 7 в прорізи сегменту 6.

Стрічкові дозувальні живильники забезпечують точніше дозування.

До недоліків живильника відноситься малий термін служби стрічки внаслідок великого навантаження вугілля та швидкого обертання стрічки через її малу довжину.

Стационарний дозувальний стіл (рис. 3.2) складається з чавунного диску (стола) 5, закріпленого на вертикальному валу 4 та спирається на п'яту 7. Обертання стола здійснюється від електродвигуна 1 через редуктор 2 та конічну зубчасту пару 3.

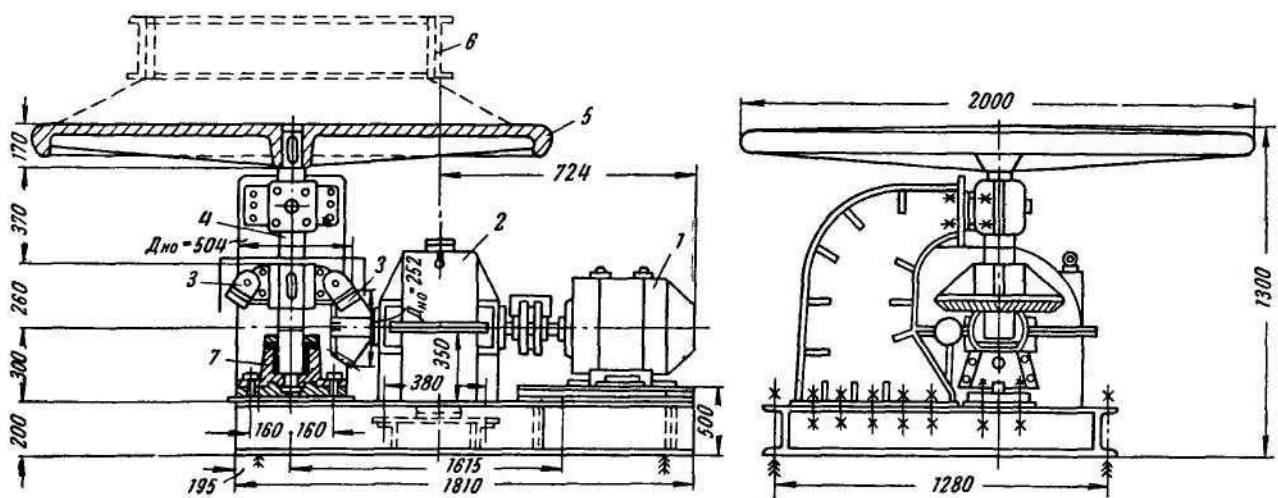


Рис. 3.2. Стационарний дозувальний стіл

Для запобігання зносу диску від вкритий сталевим листом, що міняють по мірі зносу, або футерований метлахськими або діабазовими плитками, що мають високу зносостійкість. Дозувальний стіл встановлюють під бункером. Між бункером та диском розміщений телескопічний патрубков 6, за допомогою якого шляхом піднімання або опускання регулюють висоту затвору. Вугілля, що виходить з бункеру на диск, утворює форму зрізаного конусу з кутом при основі, що дорівнює куту природного укосу вугілля. За обертання диску вугілля, що вийшло на диск, знімається металевим ножом та по жолобу спрямовується на конвеєр.

Стрічковий автоматичний дозатор є вібраційним електромагнітним живильником (рис. 3.3). На коксохімічних підприємствах вони отримали найбільше розповсюдження. З бункеру 1 вугілля надходить на лоток 3, підвішений на пружинних амортизаторах. Вібродвигун 2, сполучений з лотком, надає йому зворотно-поступальний рух. Далі вугілля надходить на стрічковий

конвеєр 4, що працює від індивідуального електроприводу. Конвеєр встановлений на ваговій платформі.

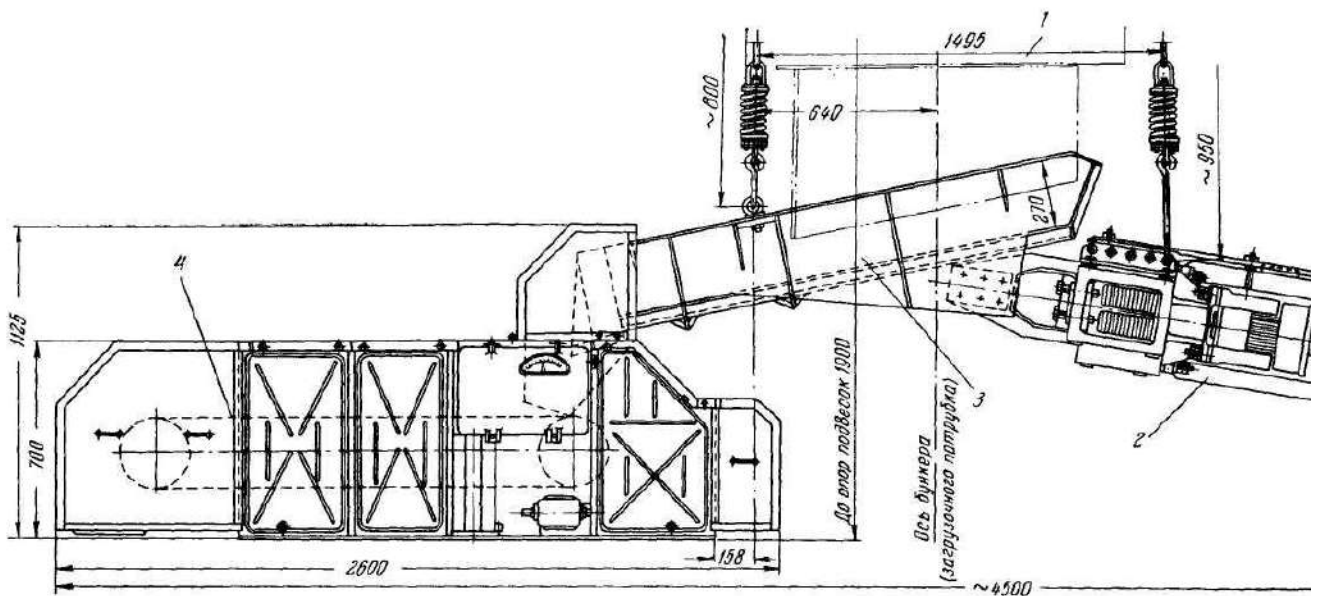


Рис. 3.3. Стрічковий дозатор типу ЛДА-100

Технічна характеристика автоматичних дозаторів наведена в табл.3.1.

Таблиця 5 – Технічна характеристика автоматичних дозаторів

Показники та одиниці виміру	ЛДА-100	ДН-25
Максимальна продуктивність, т/годину	100	200
Частота коливань живника, c^{-1}	50	50
Амплітуда коливань, мм	1,2	1,2
Ширина стрічки вагового конвеєру, мм	1000	1200
Точність регулювання, %	± 2	± 2

Зміна навантаження на конвеєр передається системою важелів на вагове коромисло, переміщення якого призводить до переміщення плунжеру індукційного датчику та тим самим порушує рівновагу індукційного мосту електронного диференційно-трансформаторного приладу. Дебаланс мосту викликає відхилення стрілки приладу на величину, пропорційну зміні навантаження на стрічку. При цьому наявний в приладі контактний пристрій містить виконавчий механізм потенціал-регулятору, що змінює величину напруги сталого струму на котушках вібродвигуна. Завдяки цьому відповідно зменшується або збільшується амплітуда вібрацій лоткового живильника, тобто змінюється продуктивність.

3.2 Подрібнення вугілля

Для подрібнення вугілля на коксохімічних підприємствах застосовують молоткові дробарки (рис. 3.4).

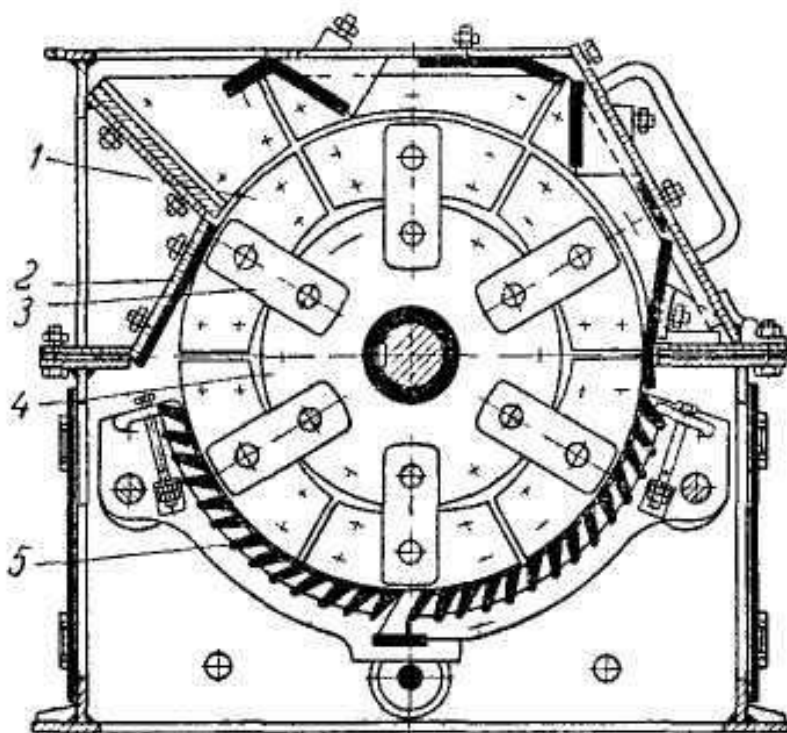


Рис. 3.4. Молоткова дробарка:

1 – плита; 2 – корпус; 3 – молоток; 4 – ротор; 5 – колосникова решітка

У відповідності з п. 7.40 ПТЕ-2017 дробарки призначені для помелу шихти або групових чи індивідуальних її компонентів в заданих межах. Змішувальні пристрої мають забезпечувати відповідне змішування шихти. На більшості підприємств остаточному подрібненню піддають всю шихту в цілому. При цьому в молоткових дробарках здійснюють не лише остаточне подрібнення, але і змішування шихти, тому окремих агрегатів (машин) для змішування не встановлюють.

Рівномірність навантаження на дробильні агрегати контролюють за допомогою амперметрів, встановлених за місцем – на електродвигунах дробарок, та на центральному пульті управління (п. 7.42 ПТЕ-2017).

3.3 Передача підготовленої шихти до коксового цеху

Підготовлена шихта конвеєрами подається на вугільну башту. У відповідності з п. 7.49 ПТЕ-2017 ці конвеєри мають бути обладнані пристроями для безперервного зважування шихти, відбору проб та їх підготовки.

Вугільна башта (рис. 3.5) є спорудою з однієї або кількох секцій прямокутного або круглого перерізу ємністю від 1500 до 6000 т.

Башта має забезпечувати зберігання 12-16-годинного запасу шихти для роботи коксових батарей, які обслуговує башта. Верх башти має пристрої для подачі шихти (конвеєри, жолоби, розподільчі пристрої). В нижній частині башти є кілька рядів розвантажувальних отворів із затворами, по три затвори в ряду (за кількістю бункерів вугленавантажувального вагону та люків коксової печі). Ступінь розкриття затворів вугільної башти на підставі п. 10.9 ПТЕ-2017 необхідно відрегулювати та систематично контролювати, забезпечуючи однакове закриття всіх затворів.

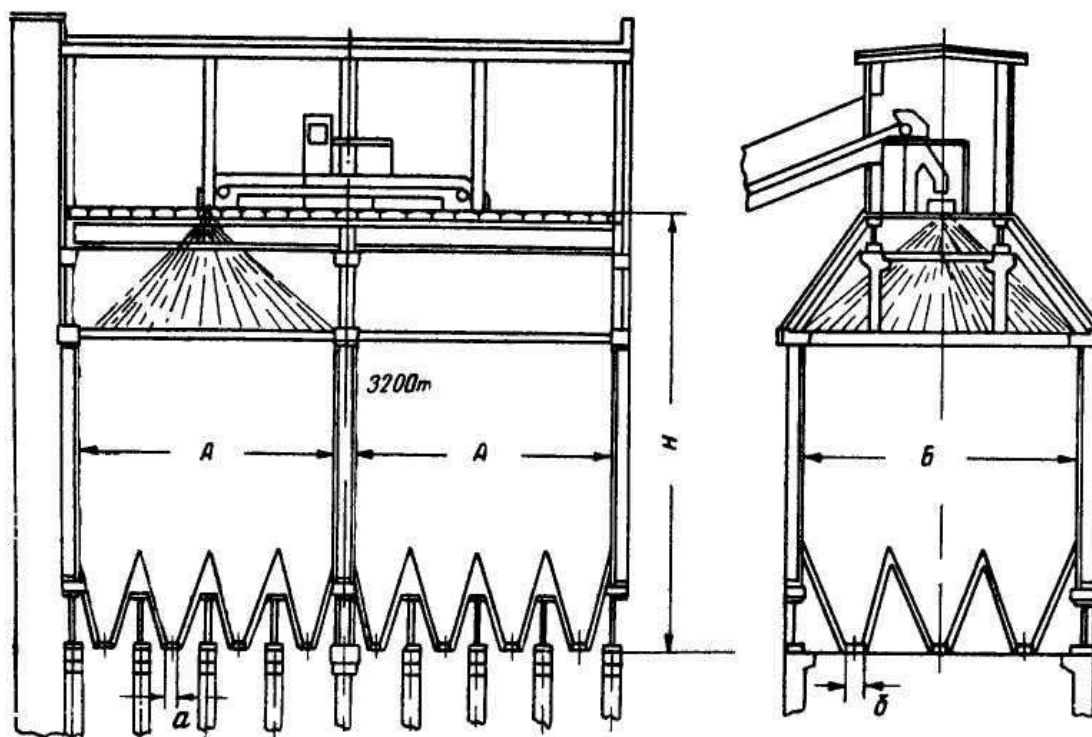


Рис. 3.5. Вугільна башта з двох секцій прямокутного перерізу

Вугільна башта має бути обладнана механізованим управлінням затворами, обігрівом, пристроями для пневматичного обрушування шихти з автоматичним або кнопковим (дистанційним) управлінням та вантажопіднімальним пристроєм. Все це устаткування має підтримуватись в працездатному стані. У відповідності з п. 10.8 ПТЕ-2017 вугільна башта має

підтримуватись у справному стані як із зовнішнього, так і внутрішнього боку, стінки бункерів повинні бути рівними, без виступаючих частин, що сприяють зависанню вугілля, похилі стінки башти та випускні воронки мають бути облицьовані скляною плиткою, листами нержавіючої сталі або кам'яного литва.

На підставі п. 10.11 ПТЕ-2017 кожен бункер вугільної башти необхідно щорічно повністю спорожнювати та зачищати з повним відновленням порушеного облицювання.

Заповнення шихтою бункерів вугільної башти має підтримуватись на рівні не менше 2/3 ємності башти у відповідності з п. 7.48 ПТЕ-2017.

За зменшення рівня шихти в башті нижче 2/3 оборот печей повинен подовжуватись для виключення простоїв видачі коксу. Під час планових зупинок для проведення ремонтів вуглепідготовчого цеху припускається зниження рівня шихти до 1/3 на підставі п. 10.10 ПТЕ-2017.

Набір шихти з башти здійснюється вугленавантажувальним вагоном почергово з різних рядів затворів згідно із затвердженим начальником цеху регламентом у відповідності з п. 10.12 ПТЕ-2017. Регламент має відповідати діючому Положенню про технологічні регламенти для виробництва продукції на коксохімічних підприємствах 2018 р.

На підставі п. п. 7.7, 10.2 ПТЕ-2017 верхнє приміщення вугільної башти (над бункерною частиною), включаючи всі механізми та устаткування, які там знаходяться, входить до складу вуглепідготовчого цеху. Решта вугільної башти входить до складу коксового цеху.

Контрольні запитання.

1. Як улаштований та як працює хиткий живильник і в чому полягають його переваги і недоліки?
2. Як улаштований та як працює стрічковий дозувальний живильник і в чому полягають його переваги і недоліки?
3. Як улаштований та як працює дозувальний стіл і в чому полягають його переваги і недоліки?
4. Як улаштований та як працює стрічковий автоматичний дозатор і в чому полягають його переваги і недоліки?
5. Як улаштована та як працює молоткова дробарка?
6. Для чого призначена та як улаштована вугільна вежа?
7. Як працює та обслуговується вугільна вежа?

Перелік джерел до 3-го розділу

1. ПТЕ-2017 Правила технічної експлуатації коксохімічних підприємств. – Харків: ДП «Гипрококс», 2018. – 283 с.
2. Шульга І. В. Положення про технологічні регламенти для виробництва продукції на коксохімічних підприємствах / І. В. Шульга, О. Л. Борисенко. – Харків : ДП «УХІН», 2018. – 40 с.
3. Справочник коксохимика. – 3-е изд. Т. 1. Угли для коксования. Обогащение углей. Подготовка углей к коксованию. // Радченко В. В. Гл. 24. Дробление и измельчение углей. Деменко В. В. Гл. 25. Дозирование и смешение углей. Гл. 26. Хранение готовой шихты. – Харьков: ИД ИНЖЭК, 2010. – С. 414 – 447.
4. Лейбович Р. Е. Технология коксохимического производства / Р. Е. Лейбович, Е. И. Яковлева, А. Б. Филатов- – Москва : Металлургия, 1982. – 340 с.
5. Ткачев В. С. Оборудование коксохимических заводов / В. С. Ткачев, М. А. Остапенко. – Москва : Металлургия, 1983. – 360 с.

4. КОКСОВІ БАТАРЕЇ

4.1 Основні вимоги до конструкцій коксових печей

1. Висока продуктивність.
2. Низькі капітальні та експлуатаційні витрати на одиницю продукції.
3. Велика ємність камери коксування.
4. Високий ступінь автоматизації та механізації трудомістких процесів.
5. Застосування дистанційного управління роботою машин та механізмів.
6. Забезпечення потрібної готовності коксу до моменту завершення процесу коксування.
7. Однорідність коксу за крупністю.
8. Висока механічна міцність коксу.
9. Рівномірний обігрів вугільного завантаження за всім об'ємом камери коксування.
10. Раціональна температура стінок камери та підсклепінневого простору.
11. Достатньо висока температура в крайніх вертикалах для захисту вогнетривкої кладки від руйнування за фазових переходів (117 °С, 226 °С, 525 °С та 875 °С) та досягнення прийнятної готовності коксу в зонах навпроти крайніх вертикалів.
12. Можливість зміни періодів коксування в обидва боки від проектних значень.
13. Можливість регулювання витрати газу, повітря, руху продуктів згоряння в опалювальній системі.
14. Простота та зручність схеми регулювання.
15. Мінімальна витрата тепла на коксування.
16. Високі термічний та теплотехнічний ККД печей.
17. Застосування вогнетривких матеріалів з високими теплопровідністю та міцністю.
18. Строк експлуатації батареї – не менше 25 років.
19. Низький рівень викидів забруднюючих речовин в довкілля.

4.2 Класифікація коксових печей

1. За режимом роботи:
 - періодичної дії – всі промислові печі;
 - безперервної дії – дослідні установки.
2. За способом обігріву:

- комбіновані (можуть опалюватись і коксовим, і доменним газом);
- некомбіновані (можуть опалюватись лише коксовим або лише доменним газом).

3. За системою опалення:

- печі ПК (з перекидними каналами) – гази з одного опалювального простінку через перекидний канал надходять до сусіднього простінку;
- печі ПВР (парні вертикали з рециркуляцією продуктів згорання) – в кожен момент часу один з вертикалів поєднаної пари працює на висхідному потоці (на горінні), а другий – на низхідному (продуктах горіння), при цьому частина продуктів горіння повертається з низхідного потоку на висхідний. Це основна система сучасних печей конструкції ДП «Гипрококс».

4. За способом використання ентальпії відхідних продуктів горіння:

- регенеративні – ентальпія використовується в регенераторах для підігріву повітря та бідного газу, що надходить на опалення, більшість сучасних промислових печей у світі є регенеративними;
- нерегенеративні (печі без уловлювання хімічних продуктів) – ентальпія продуктів горіння використовується в спеціальній установці для отримання пари та/або електроенергії.

5. За способом підводу опалювального газу та повітря:

- з бічним підводом: коксовий газ – крізь корнюри, повітря та доменний газ – крізь газоповітряні клапани до подових каналів регенератору;
- з нижнім підводом – газ та повітря подають розподільчою мережею, розташованою під фундаментною плитою батареї, опертою на колони.

4.3 Основні конструктивні елементи коксової батареї

Коксова батарея складається з:

- n камер коксування, куди завантажуються вугільна шихта;
- розташованих коло камер коксування $n+1$ опалювальних простінків – системи опалювальних каналів, в яких здійснюється горіння газу та повітря і відвід продуктів горіння; тепловий потік від опалювальних простінків передається в камеру для нагріву коксівної засипки;
- газорозподільних та повітропідвідних каналів, якими газ та повітря подаються до опалювальних простінків;
- регенераторів для нагріву повітря і доменного газу та охолодження продуктів горіння;
- арматури та механізмів.

У відповідності з цим в кладці коксових печей виділяють кілька основних зон. *Регенератори* – вузькі камери прямокутної форми, розділені центральною

поперечною перегородкою за поздовжною віссю батареї та заповнені насадкою. В нижній частині регенераторів розташовані подові канали для подачі повітря та доменного газу в регенератори та відводу звідти продуктів горіння (рис. 4.1).

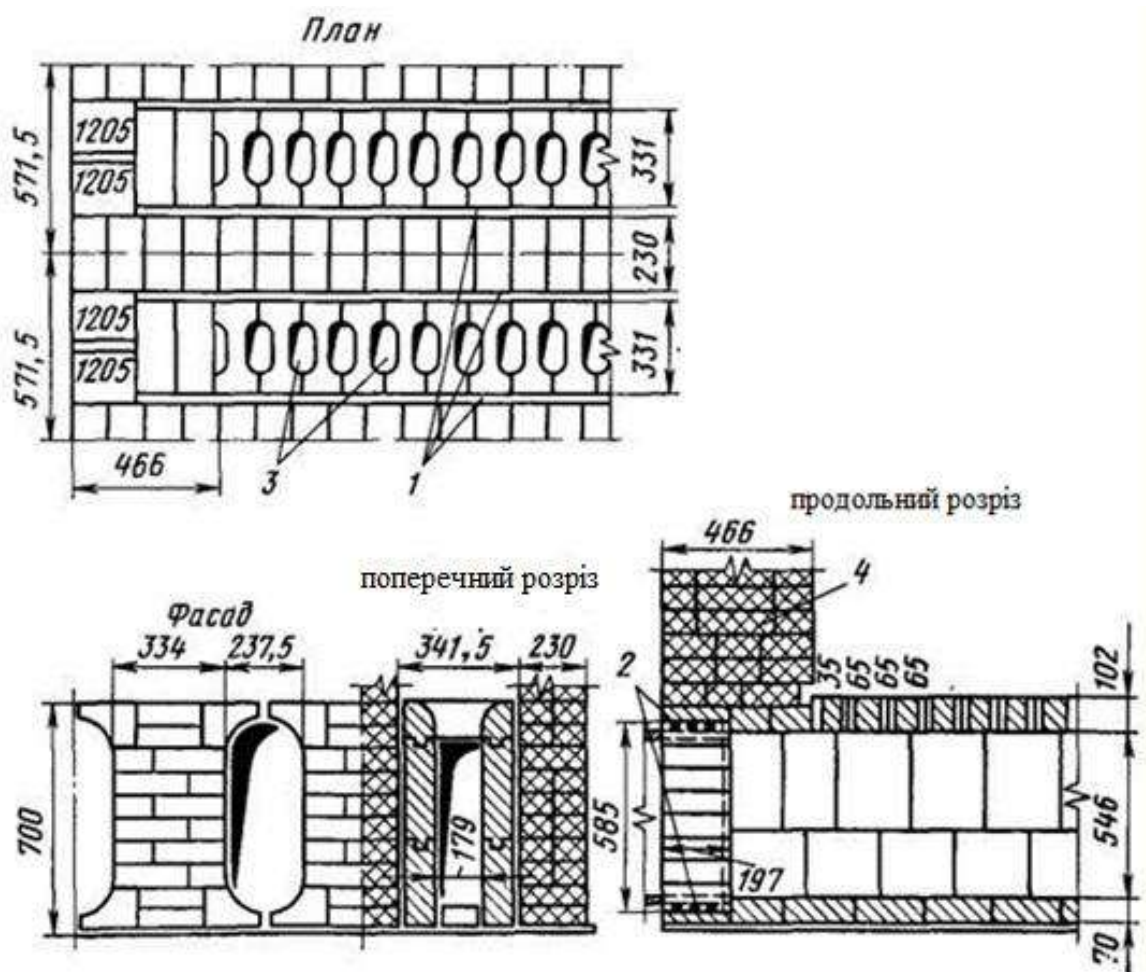


Рис. 4.1. Подові канали:
 1 – хвилястий картон; 2 – азбестовий шнур; 3 – отвори колосників;
 4 – дзеркало регенераторів

Регенератори відділені від подових каналів колосниковою решіткою, призначеною для рівномірного розподілу повітря і газу за всією довжиною регенератору. Стіни регенераторів та подових каналів виконуються з динасу (вогнетриву на основі оксиду кремнію SiO_2). Регенераторна насадка та футерування стінок подових каналів виготовляється з шамоту (оксид кремнію з додаванням 28-38 % оксиду алюмінію Al_2O_3).

Корнюрна або газорозподільна зона (рис. 4.2). Корнюр – газовий канал круглого перерізу. Газ з корнюру надходить до вертикалів крізь циліндричні отвори, в яких встановлені калібровані горілки (рис. 4.3).

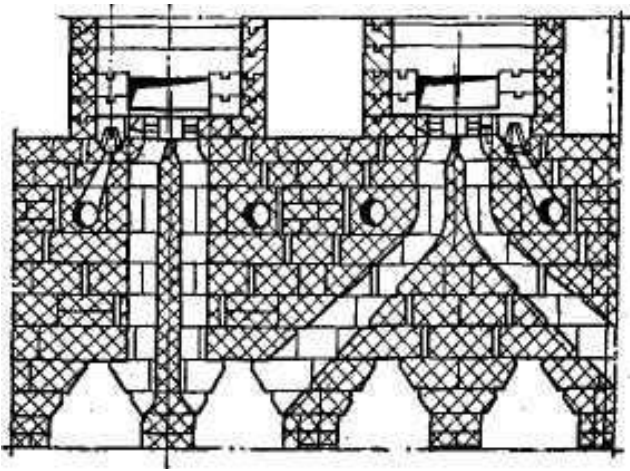


Рис. 4.2. Корнюрна зона

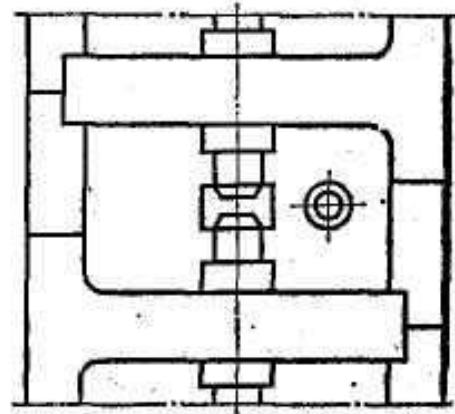


Рис. 4.3. Горілка та газоповітряне сопло

Корнюр, як і регенератор, розділений приблизно за віссю батареї центральною перегородкою на дві частини. Кількість вертикалів при проектуванні батареї встановлюють з розрахунку один канал приблизно на 0,5 м довжини простінку, а потім розміри вертикалу уточнюють за конструктивної проробки. В цій же зоні знаходяться косі ходи – похилі канали прямокутного перерізу, призначені для сполучення регенераторів з вертикалами. У верхній частині косих ходів, на виході у вертикали, знаходяться рухомі реєстрові цеглини (т.зв. «банани») для регулювання подачі повітря та газу.

Це – найскладніший вузол кладки коксових печей. Він виконується з 7-10 рядів динасової цегли складних фасонів. Загальна висота зони 1,0-1,5 м.

Опалювальні простінки складаються з вертикалів, в яких горить газоповітряна суміш та рухаються продукти горіння. Зовнішні боки каналів одночасно є стінками камер коксування. В основі кожного каналу розташовані горілка та два косих ходи. Кладка простінку – з фасонного динасу. Стиги цеглин, заповнені розчином, утворюють за «напівгитарної» кладки розпірковий шпунт, що забезпечує герметичність (рис. 4.4).

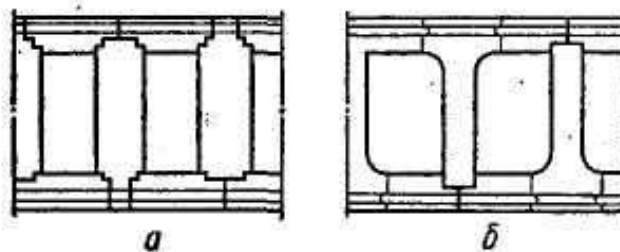


Рис. 4.4. Кладка опалювальних каналів: а — «бутылочная»; б — «напівгитарної»

Верх печей із загальною висотою кладки 1100-1300 мм складається зі склепіння камери, завантажувальних та газових люків, оглядових шахточок,

розбутки та ізоляційного шару. Склепіння печі спирається на два суміжних опалювальних простінки та є перекриттям камери коксування.

У верхньому ряді кладки спостережних шахточок закладається чавунна арматура – оглядові лючки, а в їх основі за віссю завантажувальних та газових люків викладають розпалювальні отвори, які сполучують вертикали з камерою під час розігріву батареї, а потім закладаються.

Завантажувальні та газові люки викладаються уступами; верхній ряд зі складної фасонної цегли утворює круглий отвір, який закривають чавунною рамою з кришкою.

Зазори між фасонними цеглинами заповнюють бракованою шамотною цеглою або червоною цеглою ($x\text{SiO}_2 \times y\text{Al}_2\text{O}_3$) на шамотному розчині (забутка).

По верху забутки укладається шар ізоляційної (діатомової $x\text{SiO}_2 \times y\text{H}_2\text{O}$) цегли в 3-4 ряди. Ізоляційним шаром вкладається на ребро останній верхній ряд кладки печей з клінкерної ($\text{SiO}_2 \times x\text{CaO}$) або першокласної шамотної цегли.

4.4 Основні принципи конструювання коксових батарей

Як вже зазначалось, для зручності експлуатації та підвищення продуктивності камери коксування об'єднують в батареї, що складаються з n печей, розташованих між $n+1$ опалювальними простінками.

У верхньому перекритті камери виконуються завантажувальні отвори (звичайно три) для шихти та отвори для відводу парогазових продуктів до стояків та газозбірників (один або два). З торців камера зачиняється дверми, які знімають лише на час видачі готового коксу. Для полегшення видачі камеру в більшості випадків виконують з конусністю – ширшою з коксової сторони (куди видають кокс), ніж з машинної (де розташований коксовиштовхувач), звичайно на 50 мм.

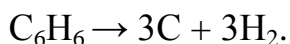
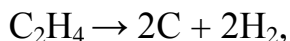
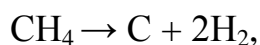
Коксова камера має бути герметичною (непроникною для зовнішнього повітря, опалювального газу та парогазових продуктів).

Опалювальний простінок складається з великої кількості вертикалів (один приблизно на кожні 0,5 м довжини камери коксування та простінку). Кожен вертикал має оглядовий канал, що закривається чавунним лючком. Крізь цей лючок вимірюють температури в вертикалі (звичайно пірометричним методом), контролюють горіння газу в вертикалі, замінюють регульовальні пристрої тощо.

Кожна піч має один або два індивідуальних регенератори, розташованих під камерою, на одній вісі з нею.

В регенераторах підігрівають спрямоване на горіння повітря та низькокалорійний доменний газ за рахунок тепла відхідних продуктів горіння.

Коксовий газ в регенератори не спрямовують, оскільки вуглеводні, що в ньому містяться, схильні до термічного розкладу, обсмолювання та полімеризації за температури в регенераторах, наприклад:



Розділення простінку на вертикали дозволяє підвищити рівномірність опалення завантаження, отримати кокс доброї якості та знизити витрату тепла на коксування. Опалювальні гази (коковий або доменний) подають до кожного простінку крізь газопідвідну арматуру – розподільчий газопровід з пристроями для регулювання і відключення подачі газу до кожного простінку. Повітря всмоктується до опалювальних простінків крізь газоповітряні клапани, що також мають пристрої для регулювання його надходження.

Коксовий газ за бічного підводу надходить до простінку крізь горизонтальні канали (корнюри) в кладці печі, за нижнього підводу – підводиться до простінку металевою розподільчою трубою, розташованою в тунелі під регенераторами, а потім вертикальними корнюрами – дюзовими каналами в кладці – надходить до вертикалів.

Для забезпечення потрібного розподілу температур за довжиною та висотою камери кожен з вертикалів має регулювальні пристрої для газу і повітря. За подачі газу корнюрами встановлюють калібровані горілки з конфузорними або дифузорними отворами, за подачі дюзами – регулювальні шайби.

Для регулювання подачі доменного газу і повітря застосовують реєстри та розсікачі – вогнетривкі цеглини різної форми, що встановлені на шляху руху потоків газу та повітря і перекривають частину прохідного перерізу. Розсікачі встановлюють на поду вертикалу між двома косими ходами, які з'єднують підсклепінневий простір регенераторів з основою вертикалу. Реєстри («банани») встановлюють в гирлах косих ходів.

Регенератори є пристроями безперервної дії, що працюють в нестационарному тепловому режимі. Кожного моменту часу половина регенераторів, охолоджуючись, працює на підігрів повітря та доменного газу на висхідному потоці, а інша половина, нагріваючись, працює на охолодження продуктів горіння низхідного потоку. Кожні 20-30 хв здійснюється кантування – напрямок потоків в регенераторах та всій опалювальній системі автоматично

змінюється на протилежний. Ця зміна напрямку руху потоків забезпечується спеціальним кантувальним пристроєм. Таким чином, кожен елемент опалювальної системи половину часу працює на висхідному потоці (рух газів догори), а другу половину – на низхідному (рух донизу).

В печах з комбінованим опаленням є всі описані елементи для подачі і доменного, і коксового газу. В печах з некомбінованим опаленням лише коксовим газом не передбачена подача доменного газу до подових каналів. За некомбінованого опалення лише доменним газом в печах відсутні корнюри та дюзи.

У відповідності з п. 10.177.1 ПТЕ-2017 правильний режим опалення коксових печей має забезпечувати рівномірний нагрів коксового пирогу за довжиною та висотою камери коксування. П. 10.178.1 ПТЕ-2017 встановлює, що ця вимога може бути виконана за нагріву стін коксових камер за довжиною та висотою з обох боків до температури, що забезпечує однакову готовність коксового пирогу за усім об'ємом камери. Тому на підставі п. 10.178.2 ПТЕ-2017 тепло має підводитись в рівних кількостях в усі опалювальні простінки коксових камер за виключенням крайніх простінків та простінків, суміжних з печами, що працюють в особливому режимі (недовантажувані, несерійні тощо). Конструкція батареї повинна враховувати неоднакові умови роботи конструктивних елементів батареї та печей за довжиною простінка (калібрування отворів для подачі повітря та доменного газу до регенераторів, зміна перерізів косих ходів в крайніх вертикалах тощо).

4.5 Система опалення ПВР

Для цієї системи, що є найпоширенішою в сучасних конструкціях ДП «Гипрококс», характерні дві ознаки: об'єднання вертикалів в пари та рециркуляція продуктів горіння (рис. 4.5).

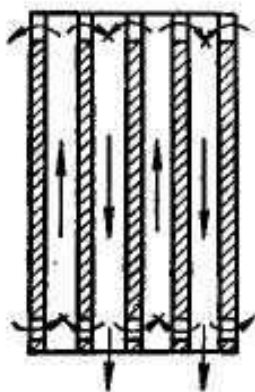


Рис. 4.5. Схема рециркуляції

Простінок розбитий на пари вертикалів, поєднаних згори перевальними вікнами. Горіння відбувається в одному з вертикалів пари, а іншим поєднаним вертикалом в цей час відводяться продукти горіння.

В нижній частині вертикали, що працюють на висхідному та низхідному потоках, поєднані вікнами для рециркуляції. Крізь ці вікна частина продуктів спалювання з вертикалу, що працює на низхідному потоці, під впливом різниці тисків всмоктується до вертикалу, що працює на висхідному потоці, тобто відбувається рециркуляція продуктів горіння.

Ступінь рециркуляції, тобто відношення об'єму рециркуляції продуктів горіння до загального об'єму продуктів горіння, що надходить до косих ходів, в печах ПВР становить 30-40 %.

4.6 Печі ПВР-46

В цих печах (рис. 4.6) вертикали поєднані з регенераторами довгими та короткими косими ходами.

Половина вертикалів сполучена короткими косими ходами з регенераторами, розташованими під цим же простінком, а інша половина – довгими косими ходами з регенераторами, розташованими під двома суміжними простінками.

Оскільки кожного кантування коксовий газ треба подавати лише до половини вертикалів простінку, то в печах ПВР для кожного простінку передбачені два корнюри.

Косі ходи, що подають доменний газ та повітря, у верхніх своїх частинах йдуть паралельно, тому витікання газу і повітря у вертикали відбувається паралельними потоками без ударів та вихорів. Для забезпечення паралельності потоків на вході до вертикалу передбачені регулювальні цеглини – змінні розсікачі. Паралельність входу газового та повітряного потоків до вертикалу є важливим фактором, що впливає на рівномірність опалення.

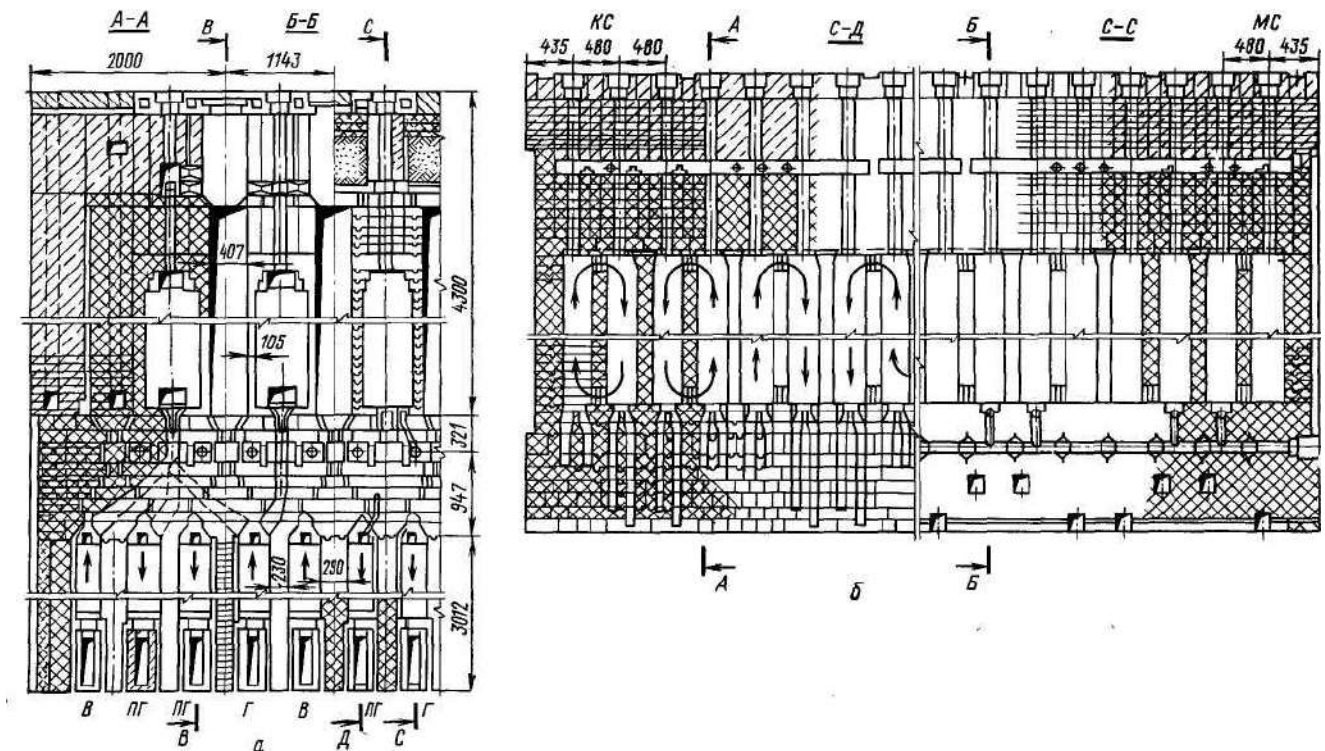


Рис. 4.6. Печі ПВР-46. Розріз за протінком та поперечний

В печах ПВР-46 рециркуляція продуктів горіння відбувається в замкненій парі. Рециркуляційні вікна розміщені в тих же стінках, що й перевальні. Печі типової конструкції ПВР-46 мали камери середньою шириною 407 мм, конусністю 50 мм, повною висотою 4,3 м та корисною довжиною 12,17 м, з корисним об'ємом 21,3 м³. Батарея складалась з 61-65 камер. Проектний оборот печей – 15 годин. На практиці батареї, що знаходились в доброму технічному стані, експлуатувались за оборотів 14 годин.

4.7 Печі ПВР-51

Особливістю печей цієї конструкції є рециркуляція продуктів горіння «змійкою». Ці печі мають наступні розміри, мм: повні довжина 14080, висота 4300, середня ширина 407, конусність 50, корисний об'єм 21,6 м³, проектний оборот печей 15 годин, експлуатаційний – 14 годин. Проектна продуктивність печей до 460 тис т коксу валового 6 %-вої вологості на рік.

Розглянемо рух газів регенераторами та косими ходами (рис. 4.7).

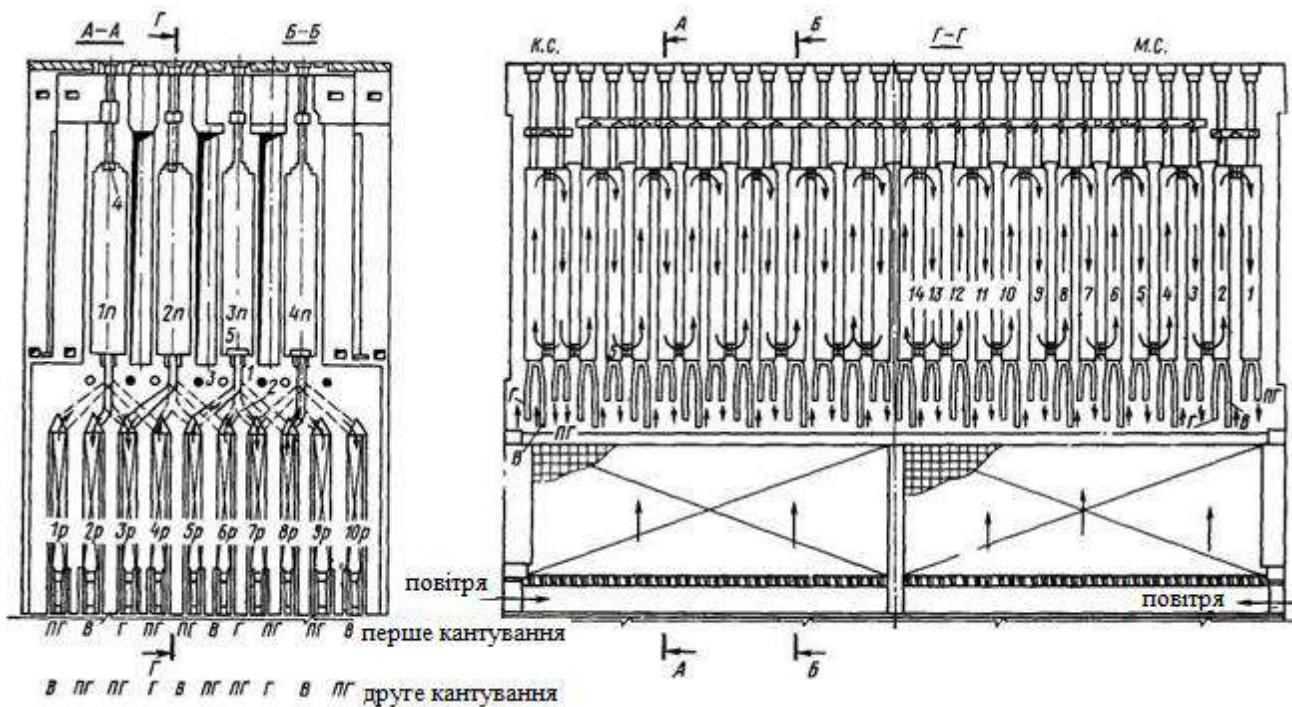


Рис. 4.7. Схема обігріву печей ПВР-51 (розріз по простінку та по батареї)
 1 – короткий косий хід; 2 – довгий косий хід; 3 – газорозподільчий канал;
 4 – перевальное вікно; 5 – рециркуляційне вікно

Першого кантування повітря надходить до регенераторів 1, 5, 9 тощо. Короткими косими ходами повітря йде до простінків, розташованих над даним регенератором, тобто з регенератору 5 до простінку 2, з регенератору 9 до простінку 4 тощо. Одночасно довгими косими ходами повітря надходить до суміжних простінків, тобто з регенератору 1 до простінку 1, з регенератору 5 до простінку 3, з регенератору 9 до простінку 5 тощо. Аналогічно цьому доменний газ короткими косими ходами надходить з регенератору 4 до простінку 2, з регенератору 8 до простінку 4 тощо, а довгими косими ходами з регенератору 4 до простінку 1, з регенератору 8 до простінку 3 тощо.

Продукти горіння з простінків, що забезпечуються газом та повітрям короткими ходами, відводяться довгими, та навпаки. Так, з простінку 2 продукти горіння відводяться довгими косими ходами до регенераторів 3 та 6, з простінку 4 до регенераторів 7 та 10 тощо. З простінку 1 продукти горіння короткими косими ходами відводяться до регенераторів 2 та 3, з простінку 3 до регенераторів 6 та 7 тощо.

В друге кантування напрямок руху газів змінюється на протилежний, тому регенераторами 2, 6, 10 тощо надходить повітря, регенераторами 3, 7 тощо – доменний газ, а продукти горіння відводяться регенераторами 1, 4, 5, 8, 9 тощо.

Зі схеми руху газів видно, що кожен простінок з'єднаний косими ходами з чотирма регенераторами, а кожен регенератор (окрім двох крайніх) – з двома простінками.

Таким чином, всі регенератори батареї з'єднані між собою косими ходами та вертикалами. Це забезпечує стійкість гідравлічного режиму та значно полегшує регулювання тяги. Газові та повітряні регенератори чергуються попарно, тобто два повітряних, два газових, знов два повітряних тощо.

В печах ПВР-51 рециркуляційні вікна розміщуються між парами вертикалів та в крайніх парах кожної сторони простінку – всередині пар.

В цілому для печей ПВР характерний витягнутий факел горіння та висока рівномірність прогріву завантаження.

4.8 Коксові печі підвищеної ємності

Перші печі такої конструкції були введені в дію 1959 р. Вони мали камери корисним об'ємом $30,0 \text{ м}^3$, повними довжиною 15,04 м та висотою 5,0 м, середньою шириною 450 мм. Проектний період коксування для такої ширини камери складає 17,5 годин.

Згодом ще на низці підприємств України (ПрАТ «Авдієвський КХЗ», КХВ ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» тощо) та інших країн були побудовані подібні батареї з камерами середньою шириною 410 та 450 мм, повними висотою 5,0, 5,5 та 6,0 м, довжиною 13,12-15,9 м, корисним об'ємом $23,5\text{-}35,2 \text{ м}^3$. Кількість печей в типових батареях – 65 (за середньої ширини камери 410 мм) або 77 (за середньої ширини камери 450 мм).

За конструкцією всі ці печі також системи ПВР. Особливістю печей ПрАТ «Авдієвський КХЗ» є нижній підвід опалювального газу та повітря.

4.9 Передумови збільшення ємності коксових печей

Продуктивність коксових батарей з печами підвищеної ємності зросла у порівнянні з печами з об'ємом камери $21,6 \text{ м}^3$ від 460 до 700-830 тис.т на рік валового коксу 6 %-вої вологості. Головними передумовами подальшого збільшення ємності коксових печей є наступні:

1. Забезпечення рівномірності обігріву по висоті за допомогою рециркуляції продуктів горіння та подовження факелу. У відповідності з п. 10.194 ПТЕ-2017 перепад температур за висотою головної частини коксового пирогу доцільно підтримувати за можливості не більше $100 \text{ }^\circ\text{C}$. В середній частині камери він має бути ще меншим.

2. Голівка коксового пирогу перед видачею має бути достатньо стійкою. Це досягається правильним режимом завантаження та планування шихти. У відповідності з п. 10.20 ПТЕ-2017 спочатку спорожняються крайні бункери вугленавантажувального вагону, а потім довантажують шихту із середнього бункеру. При цьому загальна ємність крайніх бункерів становить близько 80 % загальної маси шихти. На підставі п. 10.22 ПТЕ-2017 за правильного планування висота підсклепінневого простору камери одразу після завантаження має становити 250-350 мм. За максимального заходу в камеру носок планірної штанги не повинен доходити на 400 мм до футеровки дверей з коксової сторони, а за зворотного ходу – не здійснювати човникових рухів під середнім завантажувальним люком. Звичайно цикл планування складається з 1-2 довгих та 6-8 коротких ходів. Крім того, для забезпечення стійкості головок шихта для коксування має містити 10-20 % піснуватого спікливого вугілля або вугілля аналогічних марок.

3. Збільшення висоти пічних камер не повинне призводити до змінання коксового пирога за видачі коксу та збільшення навантаження на кладку. Стійкість коксового пирога за видачі досягається достатньою спікливістю шихти та правильним температурним режимом коксування, що забезпечує потрібну готовність коксу – у відповідності з п. 10.181 ПТЕ-2017 температура за вісню коксового пирога на різних рівнях має складати за 15 хв до видачі 1000-1100 °С.

4.10 Печі з об'ємом камери 41,3-41,6 м³

Вперше батарея з печами такої конструкції була збудована 1975 р. В 1976-1989 роках низка аналогічних батарей була збудована в Україні (№ № 7-9 на ПрАТ «Авдієвський КХЗ», 1-біс та 2-біс на ПрАТ «Запоріжжкокс», 1-біс на КХВ ПрАТ «Каметсталь», 1-біс на КХВ ПрАТ «МК «Азовсталь»)) та в інших країнах. Зараз ця конструкція є найпоширенішою із сучасних розробок ДП «Гипрококс». Типова батарея складається з 65 камер висотою 7 м, середньою шириною 410 мм, повною довжиною спочатку 16 м, а згодом 15,86 м (внаслідок скорочення на 70 мм крайніх вертикалів для забезпечення кращого обігріву головочних частин камери). Корисний обсяг камери складає 41,6 та 41,3 м³, проектна продуктивність печей – 930 та 910 тис т на рік валового коксу 6 %-вої вологості відповідно. Проектний період коксування в цьому випадку складає 15 годин. Згідно з дослідженнями ДП «УХІН», рекомендується експлуатувати ці батареї на періодах 16 годин з метою поліпшення якості коксу.

Особливістю цих печей є нижній підвід газу та повітря. При цьому регулювальні засоби винесені за межі пічної кладки, легко доступні для заміни та знаходяться в зоні низьких температур, внаслідок чого досягається більша точність регулювання та стабільність опалення.

Для забезпечення ефективності нижнього підводу та нижнього регулювання необхідне секціонування регенераторів. Крім того, це поліпшує досяжність теплообмінних поверхонь та ступінь обмивання насадки, покращує використання тепла в коксових печах за рахунок додаткової утилізації ентальпії продуктів горіння для підігріву повітря в регенераторах, та знижує витрату тепла на коксування.

Секціонування регенераторів в печах з нижнім підводом виключає перетоки повітря та доменного газу між секціями. Кожна секція регенератору поєднується косим ходом з відповідним вертикалом. Кожна група з двох поєднаних вертикалів та чотирьох пов'язаних з ними секцій регенераторів є самостійним опалювальним елементом.

Зараз споруджені та експлуатуються коксові печі з нижнім підводом газу та нижнім регулюванням подачі повітря та газу з некомбінованим та комбінованим опаленням.

В печах з некомбінованим опаленням лише коксовим газом під пічними камерами розташовані широкі регенератори. В широкій роздільній стінці між регенераторами, розташованій за віссю простінку, проходять вертикальні дюзові канали для підводу коксового газу в основи вертикалів. Кладка подових каналів виконана з більш термостійкого багатошамотного матеріалу та відділена від верхньої динасової частини стін регенераторів швом ковзання. Дюзові канали в зоні шва ковзання ущільнені спеціальними металевими вкладишами. Регенератор розділений поперечними перегородками на секції – по одній секції на кожен вертикал. В верхній частині кожна секція регенератору косим ходом поєднана з одним вертикалом. Таким чином, група з двох поєднаних вертикалів та двох секцій широких регенераторів є самостійним елементом опалювальної системи. Підвід повітря до кожної секції регенератору регулюється за допомогою спеціальних цеглин, закладених до отворів, які сполучують подовий канал з камерою регенератору. Для заміни регулювальних цеглин передбачені спеціальні отвори у вистеленні подових каналів та верхній фундаментній плиті.

Стіна регенератору, якою проходять дюзові канали, є небезпечною. Всі косі ходи, що підводять повітря до вертикалу, лежать в одній площині та спрямовані в один бік. Таке поєднання регенераторів з простінками призводить до шахового горіння: якщо в одному простінці горять парні вертикали, то в іншому – непарні.

Рециркуляційне вікно розділене на дві половини перегородкою, розташованою навпроти виходу коксового газу до вертикалу. Така конструкція рециркуляційного вікна запобігає можливості короткого замкнення газового струменю з висхідного потоку на низхідний, яка може виникати за недостатньої потужності газового потоку і переохолодження вертикалу, що працює на висхідному потоці.

Конструкція коксових печей з нижнім підводом показана на рис. 4.8.

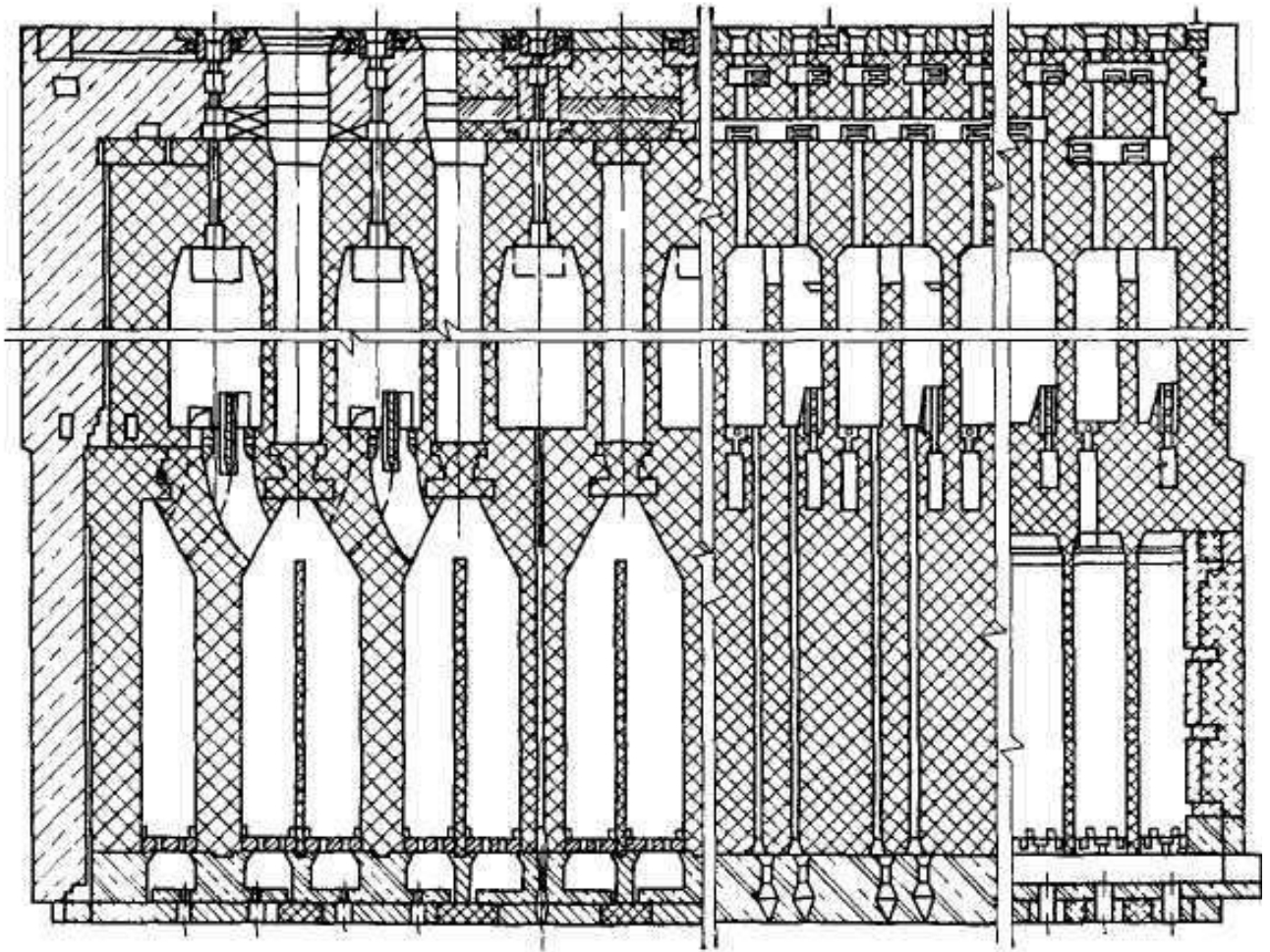


Рис. 4.8. Коксові печі з нижнім підводом

4.11 Інтенсифікація роботи коксових печей

Метою інтенсифікації є скорочення тривалості процесу коксування та підвищення продуктивності печей. Основними напрямками інтенсифікації є:

1) Збільшення корисного об'єму камер та разового завантаження печей. Найбільша батарея, споруджена за проектом Гипрококсу, введена в експлуатацію 20 жовтня 2006 р. Вона складається з 82 печей корисним об'ємом 51 м^3 кожна, довжиною 16,82 м, висотою 7 м та шириною камери 480 мм. За

проектного періоду 19 годин продуктивність батареї складає 1150 тис. т на рік коксу валового 6 %-вої вологості. Виконаний технічний проект батареї з 90 печами корисним об'ємом 63,4 м³ кожна, довжиною 18,74 м, висотою 7,4 м та шириною камери 500 мм. За проектного періоду 20 годин продуктивність батареї становить 1500 тис. т на рік валового коксу 6 %-вої вологості. Зіставна характеристика цих батарей у порівнянні з розробками провідної світової фірми – німецької UNDE – наведена в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Зіставна характеристика сучасних конструкцій коксових батарей

Показники та одиниці виміру	Чисельні значення для батарей					
	Типова конст-рукція	№ 1 ПАТ «Кокс»	№ 5 ПАТ «Алтай кокс»	Проект	Kaiser-stuhl	Schwel-germ
Кількість печей	65	65	82	90	80(105)	2×55
Корисний обсяг, м ³	41,3	42,9	51	63,4	76,0	93,0
Довжина корисна, м	15,02	15,02	16,82	18,74	17	19
Висота повна, м	7	6,65	7	7,4	7,6	8,4
Ширина середня, мм	410	450	480	500	590	600
Проектний оборот, годин	15	17,5	19	20	23	24
Проектна продуктивність, тис. т коксу/рік	910	800	1150	1500	1300 (1600)	2×1000

2) Зниження вологості шихти шляхом застосування термосушки концентратів на вуглефабриках та впровадження процесів термічної підготовки шихти. За зниження вологості шихти від 10-12 % до 4-5 % продуктивність печей зростає на 11 %, до 2 % - на 20-25 %, за використання термopідготовленої шихти з температурою 250 °С – на 40-43 %. Крім того, термopідготовлена шихта може містити до 70 % газового та слабкоспiкливогo вугiлля.

3) Збільшення швидкостей коксування від 27 до 30-32 мм/годину внаслідок застосування динасу з більшими густиною та теплопровідністю, що містить до 2 % оксиду міді CuO, або корундових вогнетривів на основі оксиду алюмінію Al₂O₃.

4) Застосування вузькокамерних печей та підвищених швидкостей коксування для шихт зі зниженою спiкливістю.

5) Нові збудовані та реконструйовані батареї повинні обов'язково мати установки бездимного завантаження шихти, безпилової видачі коксу, засоби автоматизації та механізації трудомістких робіт.

Контрольні запитання.

1. Які головні вимоги до конструкцій коксових печей?
2. Як класифікують коксові печі?
3. Які головні конструктивні зони коксової батареї?
4. Для чого призначена та як конструюється регенераторна зона коксових печей?
5. Для чого призначена та як конструюється косохідна зона коксових печей?
6. Як конструюються опалювальні простінки та камери коксування коксових печей?
7. Для чого призначена та як конструюється перекриття коксових печей?
8. В чому полягають головні принципи конструювання коксових батарей?
9. В чому полягають головні особливості конструкції коксових печей із системою обігріву ПВР?
10. В чому полягають головні особливості конструкції, переваги та недоліки коксових печей ПВР-46?
11. В чому полягають головні особливості конструкції, переваги та недоліки коксових печей ПВР-51?
12. Які головні передумови збільшення ємності коксових печей?
13. В чому полягають головні особливості конструкції, переваги та недоліки коксових печей з нижнім підведенням опалювального газу і повітря з комбінованим обігрівом?
14. В чому полягають головні особливості конструкції, переваги та недоліки коксових печей з нижнім підведенням опалювального газу і повітря з некомбінованим обігрівом?
15. Які характеристики притаманні найсучаснішим конструкціям коксових батарей в Україні та світі?
16. Які перспективи розвитку конструкцій коксових батарей?

Перелік джерел до 4-го розділу

1. ПТЕ-2017 Правила технічної експлуатації коксохімічних підприємств. – Харків: ДП «Гипрококс», 2018. – 283 с.
2. Справочник коксохимика. – 3-е изд. Т. 2. Производство кокса // Борисов Л. Н., Коськова Г. Э., Суренский О. Н. Гл. 2. Коксовые печи. Коськова Г. Э., Стельмаченко С. Ю. Гл. 3. Кладка коксовых печей. Под ред. И. В. Шульги. - Харьков: ИД ИНЖЭК, 2014. – С. 43 – 141.

3. Лейбович Р. Е. Технология коксохимического производства / Р. Е. Лейбович, Е. И. Яковлева, А. Б.Филатов. – Москва : Металлургия, 1982. – 340 с.

4. Ткачев В. С. Оборудование коксохимических заводов / В. С.Ткачев, М. А.Остапенко. – Москва : Металлургия, 1983. – 360 с.

5. ТЕХНОЛОГІЧНЕ УСТАТКУВАННЯ ТА МАШИНИ КОКСОВИХ ПЕЧЕЙ

5.1 Анкераж, броні, рами та двері коксових печей

Для збереження монолітності кладки коксової батареї за її розігріву та від коливань температур за експлуатації застосовують поздовжнє та поперечне армування – анкераж.

Кладку за довжиною батареї армують за допомогою контрфорсів, що становлять одне ціле із залізобетонною фундаментною плитою. Верхня частина контрфорсів скріплюється шістьма поздовжніми стяжками зі стрічкової сталі, укладеними верхом батареї під дистанційними стрічками, призначеними для кріплення рейок шляху вугленавантажувального вагону. Останні ланки анкерних стяжок мають круглий переріз та пропущені крізь спеціальні отвори у контрфорсах. На коксових батареях нових конструкцій поздовжні анкерні стяжки мають на своїх кінцях по три комплекти спарених пружин (одна в іншій), які розташовуються в спеціальних нішах на контрфорсах та мають забезпечити зусилля на кожній стяжці у відповідності з п. 10.312 ПТЕ-2017 350-400 кН для печей з подовими каналами з динасу та 400-460 кН для печей з подовими каналами з багатошамоту. На практиці іноді застосовується застаріла одиниця виміру зусиль на стяжках: $1 T = 1 \text{ тс} = 9,81 \text{ кН}$.

Навантаження на стяжні пружини регулюється стяжними гвинтами. Розширення кладки в довжину за розігріву батареї сприймається температурними швами, передбаченими в масиві кладки.

Армування кладки за довжиною опалювальних простінків здійснюється за допомогою великих та малих анкерних колон, верхніх та нижніх поперечних анкерних болтів, армувальних бронерам, балок та комплекту спіральних пружин. Великі анкерні колони встановлюються за віссю простінків з коксового та машинного боків батареї і стягуються анкерними болтами, на обох боках яких наворачуються гайки.

На печах сучасних конструкцій армування кладки диференційоване за висотою, при цьому навантаження встановлюються у відповідності з вимогами п. 10.312 ПТЕ-2017 в межах 100-180 кН (рис. 5.1).

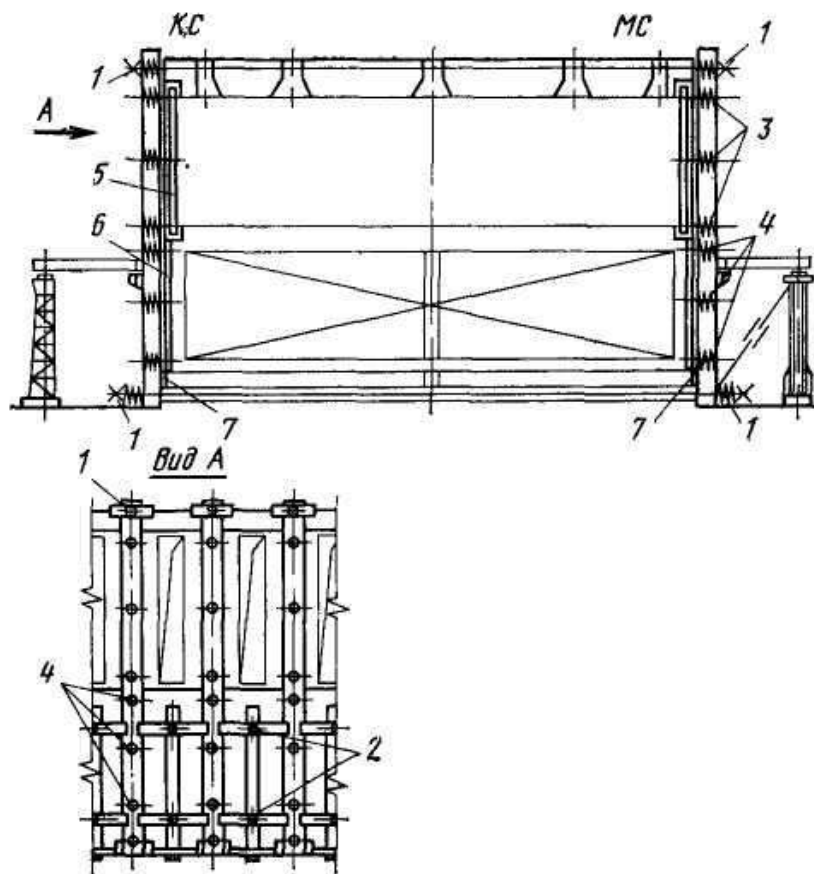


Рис. 5.1. Схема поперечного армування

1 – пружини анкерних колон; 2 – малий анкераж; 3 – армування броней;
 4 – армування регенераторів; 5 – броні простінків; 6 – балка регенераторів;
 7 – балка подових каналів

Пружини встановлюються з обох боків кожної анкерної стяжки. На батареях з подовими каналами з багатошамотної цегли динасова та багатошамотна кладки армуються окремо за допомогою окремих колон малого анкеражу, які притискаються до динасової кладки пружинами, а до багатошамотної – натискними болтами.

Нижня будова батареї армується за допомогою малих анкерних колон, підкладних броньових листів та пружин. Малі колони являють собою двотаврові балки, встановлені між великими анкерними колонами. Верхня будова батареї армується за допомогою броньових плит, що анкерними колонами притискаються до кладки печей. Проміжок між бронєю та головкою простінку заповнюється ізоляційним матеріалом.

До броні за допомогою болтів притягується дверна рама з ригельними крюками, на які навішуються двері (рис. 5.2).

Двері кріпляться в дверних рамах двома ригелями, що заходять до кріпків дверної рами. Двері притискаються до контактної поверхні рами ригельними болтами та гайками, закріпленими на фасадному боці корпусу дверей.

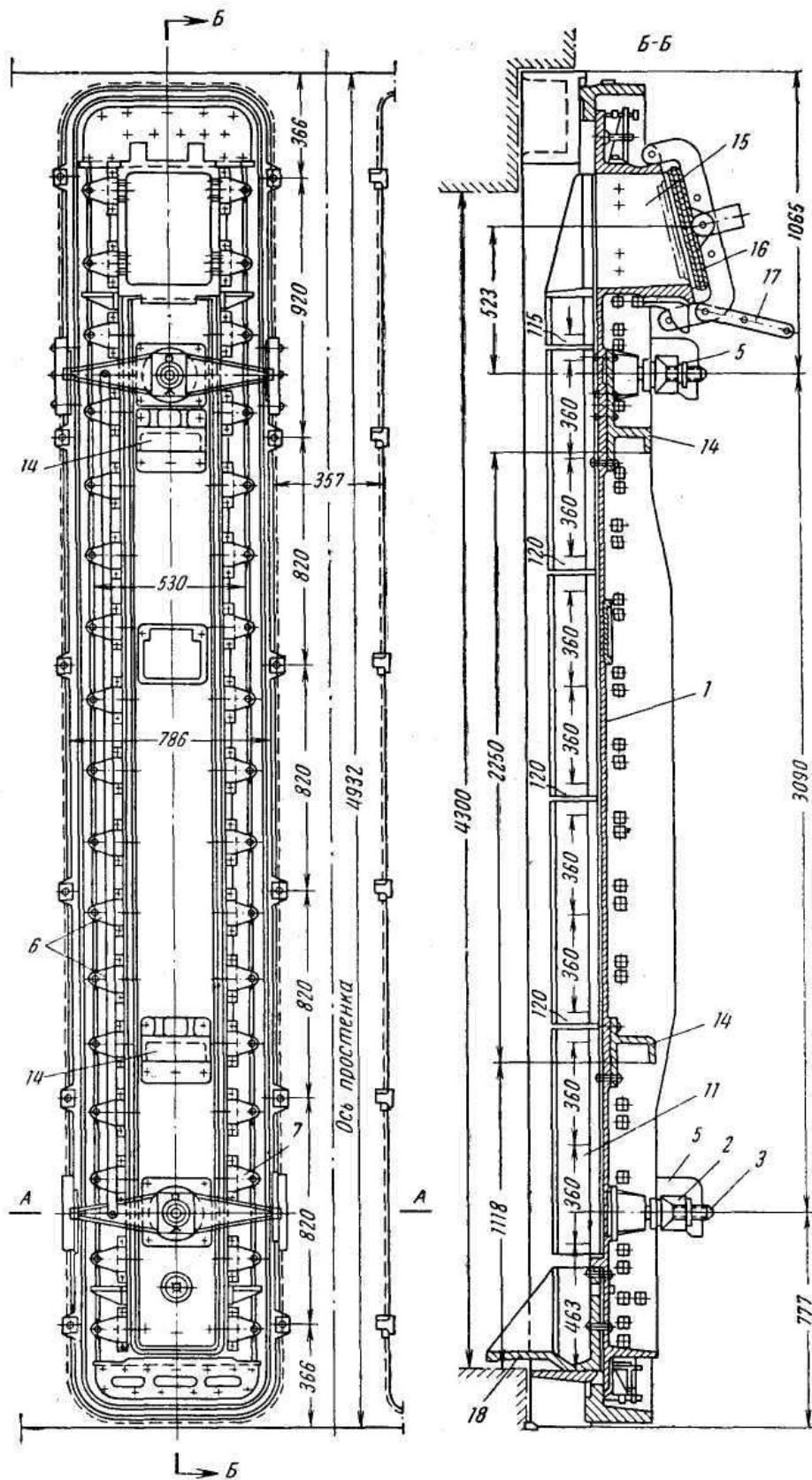


Рис. 5.2. Двері коксової печі з машинного боку:
 1 – корпус; 2 – ригель; 3 – ригельний гвинт; 4 – гайка; 5 – крюк; 6 – кронштейн;
 7 – гвинт; 8 – закладний стаканчик; 9 – рамка; 10 – сталева мембрана;
 11 – цеглотримач; 12 – шамотна футеровка; 13 – рама; 14 – карман; 15 – планірний
 лючок; 16 – планірні дверцята; 17 – важель; 18 – кронштейн

Верхній та нижній ригелі двері з'єднуються штангою для одночасного повороту ригелів за зняття та установки дверей.

Для зниження тепловтрат у доквілля та зменшення термічного впливу на металоконструкції двері їх футерують шамотною цеглою.

Футеровка, встановлена на двері за розігріву батареї, працює до двох років. Коли нові двері або двері з з перекладеною футеровкою встановлюють на вже працюючу батарею, термін служби футеровки скорочується до 2-6 місяців. За встановлення дверей з футеровкою, попередньо нагрітою за певного температурного режиму, термін її служби значно збільшується.

5.2 Газовідвідна арматура коксових печей

Прямий коксовий газ з камер коксування відводиться крізь стояки до газозбірників, розташованих з одного або двох боків камер коксування. Другий газозбірник встановлюють головним чином для поліпшення відводу газів за бездимного завантаження коксових печей.

Стояки мають наступні основні вузли: сталева вертикальна труба, футерована вогнетривкою цеглою; чавунне перекидне коліно з кришкою; чавунна клапанна коробка з тарілчастим поворотним клапаном (рис. 5.3).

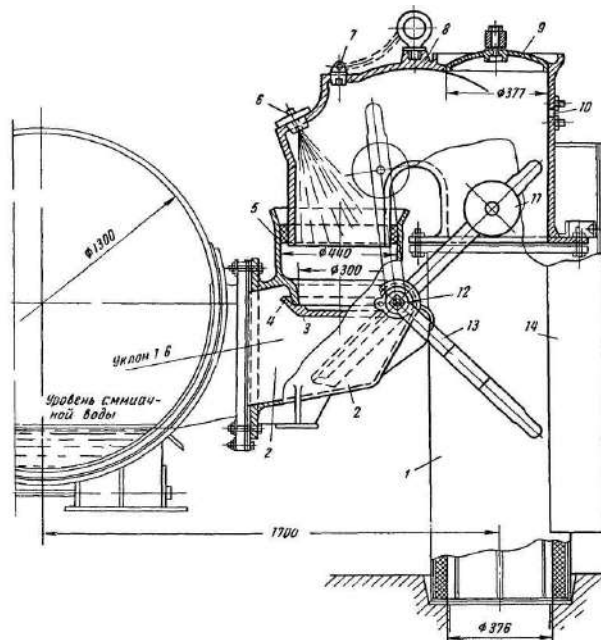


Рис. 5.3 Стояк:

1 – корпус; 2 – клапанна коробка; 3 – клапанна тарілка; 4 – гідрозатвор; 5 – корпус клапанної коробки; 6 – форсунка; 7 – отвір для чищення; 8 – коліно; 9 – кришка; 10 – отвір під парову форсунку; 11 – противага; 12 – ось; 13 – важель; 14 – екран

У верхній частині стояку розташовані форсунки зрошення прямого коксового газу аміачною водою та парове сопло для інжекції газів за бездимного завантаження коксових печей.

Форсунку зрошення прямого коксового газу встановлюють так, щоб конус розпилювання аміачної води перекривав весь переріз потоку газу, однак при цьому вода не потрапляла до камери. Аміачна вода зрошення газу в стояку є затворною рідиною при закритті клапанної коробки, за допомогою якої коліно стояку з'єднується з газозбірником.

Гідрозатвор висотою 40 мм утворюється за горизонтального положення поворотного тарілчастого клапану, розміщеного в клапанній коробці. За такого положення клапану піч відключається від газозбірника (наприклад, на час видачі).

В верхній частині стояку є гніздо для кришки стояку. Важелі підйому кришки стояку та гідрозатворів клапанної коробки пов'язані так, щоб за відкривання клапану гідрозатвору кришка стояку закривалась та навпаки.

У газовідвідному люку утворюються вуглецеві відкладення, інтенсивність яких зростає за високої температури у підсклепінневному просторі (більше 750 °С), недовантаженні печей (за висоти підсклепінневного простору під люками більше 350 мм, неправильному режимі планування та наявності значних відкосів шихти в камері) та підвищеної усадки шихти. Це перешкоджає евакуації газу та потребує систематичного чищення стояків. На нових батареях дана операція механізована та виконується за допомогою устаткування, встановленого на вугленавантажувальному вагоні. На старих батареях ця важка та трудомістка операція виконується вручну.

Для зниження інтенсивності відкладень коліна стояків зсередини футерують шамотною цеглою.

Температура зовнішньої поверхні стояків сягає 130-150 °С. Для захисту людей від теплового випромінювання у відповідності з вимогами п. 10.3 ПТЕ-2017 та Державних санітарних правил підприємств чорної металургії ДСП 3.3.1.038-99, затверджених 01.12.99 постановою № 38 головного державного санітарного лікаря України, на стояки навішують металеві щити, обшиті листовим вогнетривким матеріалом.

5.3 Закладна арматура коксових печей

Це арматура, закладена безпосередньо до конструкції перекриття коксових печей – рами завантажувальних та оглядових люків. Вони виконуються з жароміцного чавуну. Закладна арматура в перекритті закріплюється так, щоб її верхній край був врівень з поверхнею печі.

Всі завантажувальні люки (рис. 5.4) мають розташовуватись співвісно за довжиною камери та батареї, щоб не виникло неспіввісності завантажувальних люків та бункерів вугленавантажувального вагону, що ускладнює схід шихти.

Рами завантажувальних люків мають щільно прилягати до кладки перекриття. В протилежному випадку в щілинах внаслідок вторинного піролізу парогазових продуктів в підсклепінневому просторі відкладається піровуглець, який видавлює раму люка з гнізда. Відбувається т.зв. «зростання» люків, що ускладнює, а згодом взагалі робить неможливим пересування вугленавантажувального вагону. Це призводить до необхідності перекладання верху печей.

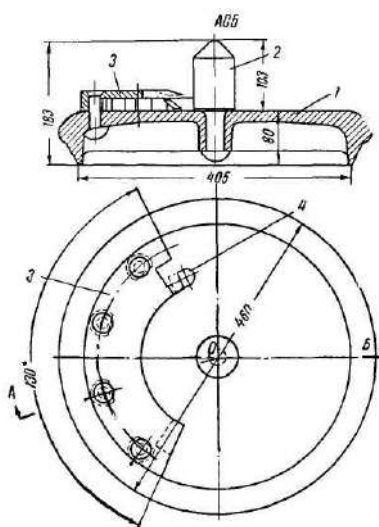


Рис. 5.4. Кришка завантажувального люку
1 – корпус; 2 – штир; 3 – пластина; 4 – упор

На кришках завантажувальних люків для їх механізованого знімання є центрувальний штир та лекало для захвату і повороту кришки при зніманні та установці.

Рами оглядових лючків (рис. 5.5) закладаються так само, як і рами завантажувальних люків.

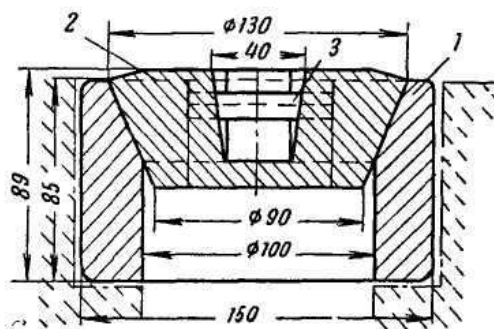


Рис. 5.5 Оглядовий лючок: 1 – втулка; 2 – кришка; 3 – перемичка

Для заміру температур і тисків в вертикалах та контролю стану верхньої частини регенераторів в оглядових лючках є спостережні вічка. В них вставляють чавунні трубки з кришками, ущільнені вогнетривким шнуром та шамотним розчином.

5.4 Опалювальна арматура коксових печей

Опалювальний газ подають на батарею в районі кантувального приміщення. Схема подачі газу показана на рис. 5.6. Коксовий газ надходить на опалення з цеху сіркоочищення, а за його відсутності – з цеху вловлювання після бензольного відділення.

У відповідності з п. 10.240 ПТЕ-2017 коксовий газ перед подачею на опалення підігрівають в газопідігрівачах глухою парою до 60-70 °С для запобігання випадання нафталіну та конденсату в розподільчих газопроводах та арматурі.

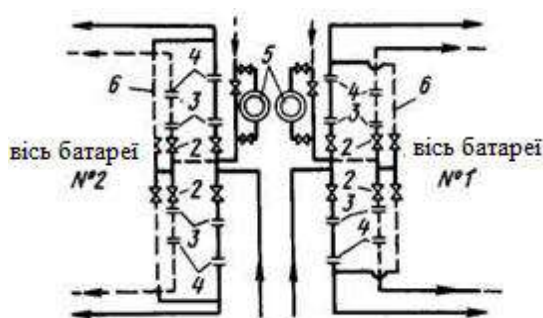


Рис. 5.6. Схема підводу газу:

1, 2 – засувки; 3 – дросельні клапани; 4 – діафрагми; 5 – газопідігрівачі; 6 – трубопроводи; — - - - - доменний газ; - - - - - опалювальний коксовий газ

Газопідігрівач є кожухотрубчастим теплообмінником. Газ проходить трубами, насичена пара тиском 0,3-0,5 МПа – між трубами. Температура підігріву регулюється автоматично.

Доменний газ на опалення батареї подається після його знепилювання в доменному цеху до концентрації пилу не більше 4 мг/м³ у відповідності з п. 10.247.2 ПТЕ-2017.

Підвідні та розподільчі газопроводи опалювального газу мають засувки, вимірювальні діафрагми та дросельні пристрої для автоматичного регулювання подачі газу на опалення.

На батареях з бічним підводом розподільчі газопроводи коксового газу розташовують в бічних тунелях, а доменного газу – в спеціальних тунелях по боках батареї нижче рівня подових каналів.

На батареях з нижнім підводом два розподільчих газопроводи коксового газу по боках знаходяться під верхньою фундаментною плитою в нижньому тунелі.

По кінцях газопроводів встановлюють продувні свічі діаметром 75-100 мм, виведені на 5 м від верху батареї. Свічі мають автоматично спрацьовуючі затвори з противагами, відрегульованими на робочий тиск газу (1000-1500 Па у відповідності з п. 10.283.4 ПТЕ-2017).

Для відводу конденсату на підвідних та розподільчих газопроводах є конденсаційні горщики (рис. 5.7), куди можуть подаватись технічна вода або пара. Конденсат з газопроводів відводиться до фекальної каналізації або у відстійники гасильних веж.

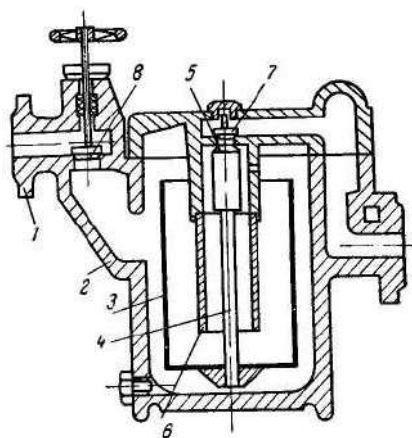


Рис. 5.7. Конденсатовідвідник з відкритим поплавком:

- 1 – штуцер для надходження конденсату; 2 – корпус; 3 – відкритий поплавок;
4 – стрижень поплавку; 5 – подвійний клапан; 6 – патрубок; 7 – зворотний клапан;
8 – продувочний вентиль

У верхній частині конденсаційного горщику є штуцер, що сполучує її з продувною свічею вище її затвору.

Коксовий газ подають до корнюрів крізь стопорний та реверсивний (кантувальний) крани, гнучкий сталевий шланг, газову «пушку» та чавунний вкладиш у кладці, що є початком корнюру (рис. 5.8).

Реверсивний кран призначений для періодичної подачі газу до простінку протягом відповідного кантування (рис. 5.9).

Стопорний кран слугує для відключення подачі газу на простінок за технологічних причин, ремонту та заміни кантувального крану, діафрагми або гнучкого шлангу, а також для чищення арматури.

Газова пушка є фасонною литою чавунною деталлю з двома вхідними та одним вихідним отвором. Вихідний отвір з'єднаний зі вкладишем.

До нижнього вхідного отвору протягом відповідного кантування з гнучкого шлангу надходить газ. В наступне кантування нижній отвір

закривається, та через 2-5 хв за допомогою знеграфічувальної лебідки відкривається верхній отвір, крізь який подається повітря. Подача повітря припиняється за 2-5 хв до наступного кантування.

До 1980 р. на печах з боковим підводом застосовували спарену арматуру. Кожний стопорний та кантувальний крани обслуговували два суміжних корнюри. При цьому кількості газу, що надходять до кожного з корнюрів, були взаємопов'язані.

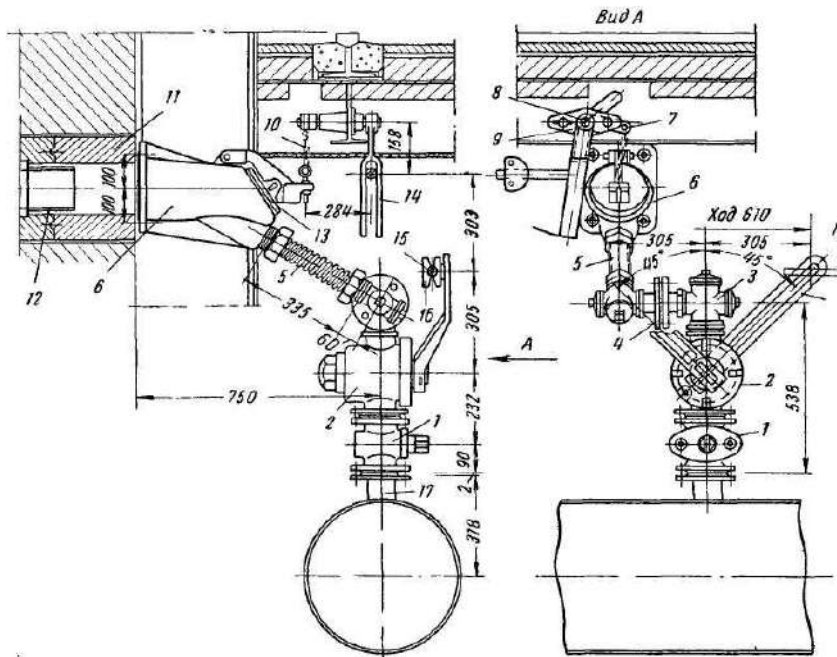


Рис. 5.8. Арматура опалення коксовим газом:

1 – стопорний кран; 2 – кантувальний кран; 3 – хрестовина; 4 – діафрагма з патрубком; 5 – сталевий гнучкий шланг; 6 – газова пушка; 7 – важель; 8 – вісь; 9 – втулка; 10 – ланцюг; 11 – вкладиш; 12 – манжета; 13 – кришка; 14 – важель; 15 – тяга; 16 – зажим; 17 – патрубок

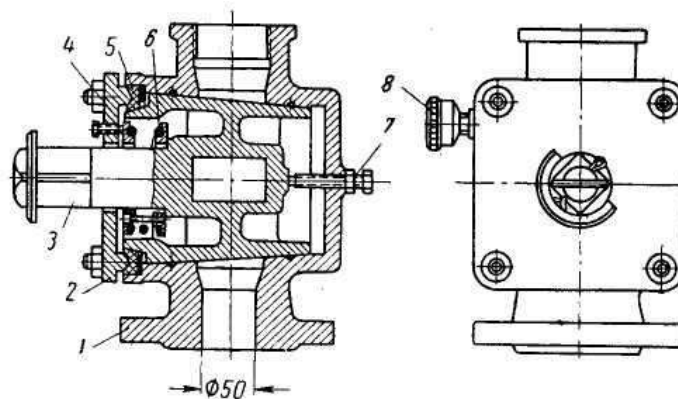


Рис. 5.9. Реверсивний (кантувальний) кран для коксового газу:

1 – корпус; 2 – кришка; 3 – пробка; 4 – шпилька; 5 – сальникова набивка; 6 – пружина; 7 – болт для витискування заклиненої пробки; 8 – маслянка

Для усунення цього та зменшення розмірів кранів розробили конструкцію чотириходового крану, що об'єднує арматуру, яка підводить газ до обох корнюрів одного простінку.

На печах з нижнім підводом коксовий газ подається до вертикальних дюз крізь стопорний та реверсивний крани, розподільчі патрубки, колектори та вертикальні патрубки, встановлені в кладці. Реверсивний кран – чотириходовий з діафрагмованим вікном для знеграфічування дюз та горілок вертикалів низхідного потоку. Кількість газу на півпростінок дозується за допомогою каліброваних діафрагм, вставлених у фланцеві з'єднання. Під кожним півпростінком знаходиться по два колектори, сполучених з вертикальними патрубками гумовими перехідниками, закріпленими хомутами. Кількість газу на кожен вертикал регулюється каліброваними шайбами та діафрагмами.

Доменний газ та повітря до подових каналів регенераторів подають крізь газоповітряні клапани.

До газових регенераторів доменний газ надходить крізь регулювальний та реверсивний клапани (рис. 5.10).

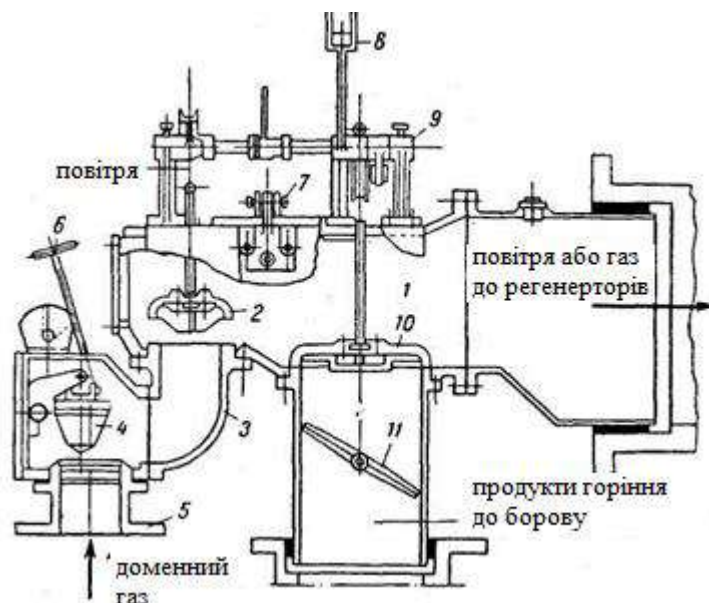


Рис. 5.10. Газоповітряний клапан для газового регенератору:

- 1 – корпус; 2 – кантувальний газовий клапан; 3 – коліно; 4 – регулювальний затвор доменного газу; 5 – патрубок доменного газу; 6 – маховик; 7 – кришка;
- 8 – головний важель; 9 – кулачково-важельна система; 10 – клапанна тарілка;
- 11 – дросель-«метелик»

За роботи батареї на коксовому газі реверсивний клапан може приймати повітря крізь повітряну кришку, розташовану в його верхній частині. За роботи на доменному газі ця кришка закріплюється в закритому положенні. За роботи

газового регенератору на низхідному потоці продукти горіння виходять крізь димові патрубки та канали до лежака.

Клапани повітряних регенераторів можуть приймати повітря та відводити продукти горіння (рис. 5.11).

Реверсивні клапани можуть мати чотири збірки – дві для повітря, газу та продуктів горіння, а дві – лише для повітря та продуктів горіння. Збірки кожної пари відрізняються положенням валу провідного важеля – правим або лівим.

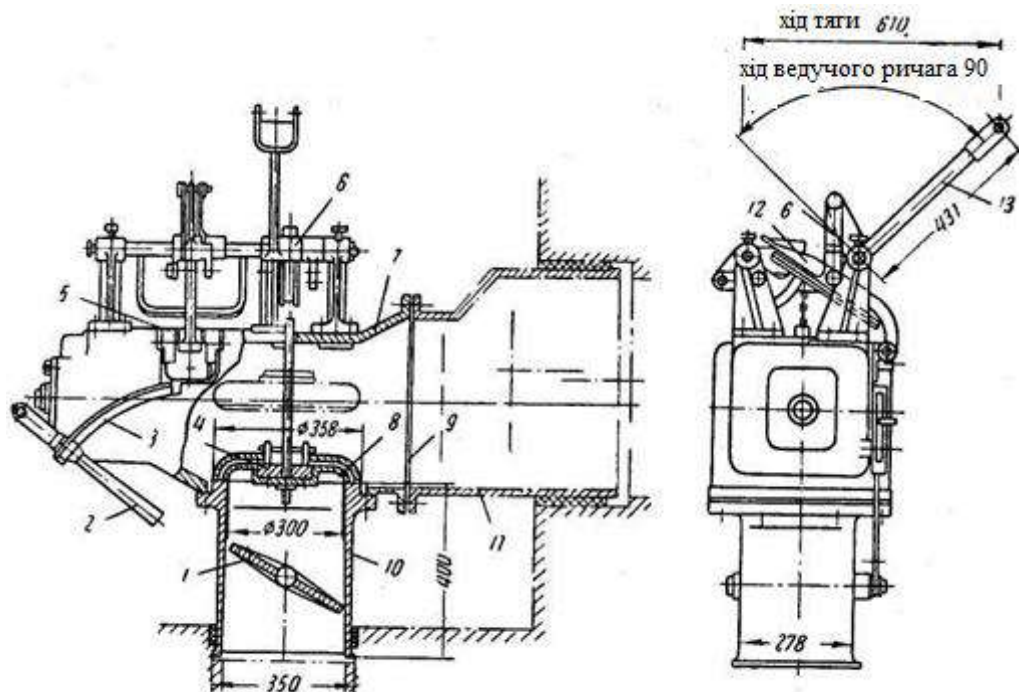


Рис. 5.11. Газоповітряний клапан для повітряного регенератору:

1 – дросель-«метелик»; 2 – важель; 3 – рейка; 4 – тарілчастий клапан; 5 – верхній отвір; 6 – кулачково-важельна система; 7 – корпус; 8 – нижній отвір; 9 – боковий отвір; 10 – димовий патрубок; 11 – повітряний патрубок; 12 – кришка; 13 – головний важель

Збірки для повітря, газу та продуктів горіння мають тарілчасті клапани для впуску доменного газу і патрубку для приєднання регулювальних клапанів. Регулювальний клапан кріпиться на фланцевому з'єднанні до патрубку, привареного к розподільчому газопроводу доменного газу. Реверсивний клапан за допомогою фланців з'єднується з регулювальним клапаном та перехідним патрубком, що вмонтований в кладку подового каналу.

Дозування подачі доменного газу в регулювальному клапані здійснюється за допомогою штурвалу, що приводить в дію конічний клапан, який перекриває переріз підвідного патрубку.

З регулювального клапану доменний газ надходить до реверсивного клапану крізь газовий патрубок, що перекривається тарілкою. Під час роботи газового регенератору на висхідному потоці димовий патрубок теж

перекривається тарілкою. Обидві тарілки кріпляться на штоках, з'єднаних ланцюгами з важільною системою клапану, що приводиться в дію ведучим важелем. Важільна система реверсивного клапану регулюється так, щоб за кантування опалення газовий та димовий клапани відкривались та закривались цілковито у визначеній послідовності. Це необхідне для запобігання мікровибухів (т.зв. «хлопків») під час кантування опалення.

5.5 Кантувальне приміщення

Кантувальне приміщення призначене для управління опаленням батареї та встановлення контрольних і регулювальних приладів. До нього виведені керуючі органи засувок підвідних та розподільчих газопроводів опалювального газу, встановлені щит реєструючих та показних приладів, стенд струменевих регуляторів, кантувальна та декарбонізаційна лебідки.

У відповідності з п. 10.2.4 Правил пожежної безпеки для коксохімічних виробництв (НАПБ 01.039-2001), затверджених наказом Мінпромполітики України № 166 від 13.11.2001, в проектах нових коксових батарей до ізольованих кантувальних приміщень забороняється виводити штурвали засувок газопроводів, прокладених у приміщеннях, де може мати місце виділення газу за аварій. В цих випадках до кантувальних приміщень виводять лише органи керування засувками, наприклад, за допомогою пневматичної передачі сигналу.

На щиті КВП розташовані вторинні прилади, що показують або реєструють наступні основні технологічні параметри:

- 1) витрата і тиск опалювальних газів у загальному та розподільчому газопроводах;
- 2) температура опалювального газу;
- 3) розрідження та тиск в загальному та бічних лежаках;
- 4) температура та тиск в газозбірниках;
- 5) розрідження у верхній частині регенераторів висхідного потоку по боках батареї;
- 6) вміст кисню та діоксиду вуглецю в продуктах горіння з лежаків по боках батареї;
- 7) теплота згоряння опалювального газу;
- 8) кількість виданих печей – кількість вмикань приводу виштовхувальної штанги або насосів гасильної вежі;
- 9) сила струму приводу виштовхувальної штанги;
- 10) вмикання механізмів для відбору проб коксу.

На стенді для струменевих регуляторів встановлюють регулятори витрати або тиску опалювального газу та розрідження в лежаках по боках батареї.

Датчиками для регуляторів витрати приладів контролю є витратомірні діафрагми, встановлені у фланцевих з'єднаннях газопроводів в тунелі. Тиски від вимірюваних точок передаються на контрольні прилади за допомогою імпульсних трубок, герметичність та чистота яких мають систематично перевірятись. Датчики температури газу в газопроводах та газозбірниках – термометри опору (мідні – до 100 °С, платинові – до 500 °С), продуктів горіння в лежаках – термопари. Для визначення складу продуктів горіння застосовують автоматичні газоаналізатори. Теплота згоряння газу визначається за допомогою автоматичного калориметру (наприклад, Juncalor, за безперервного виміру температури води при горінні частини опалювального газу).

Кантувальна лебідка (рис. 5.12) складається з редуктору, на головному валу якого насаджені з двох боків ексцентрикові шайби. Одна з шайб призначена для переміщення важелю газоповітряних клапанів, інша – важелю кантувальних клапанів.

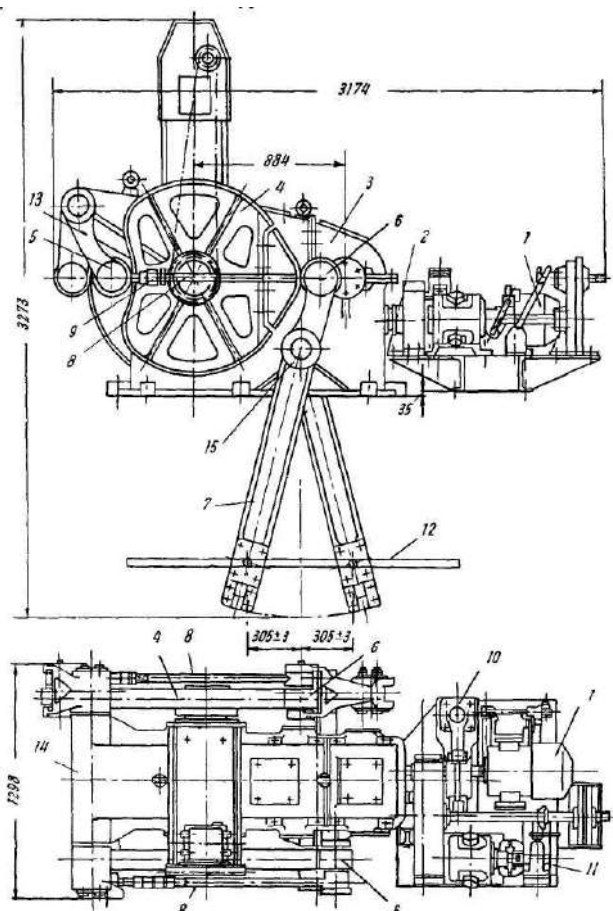


Рис. 5.12. Кантувальна лебідка: 1 – електродвигун; 2 – муфта; 3 – редуктор; 4 – ексцентрикова шайба; 5, 6 – ролики; 7 – перевідні важелі; 8 – тяга; 9 – стяжні втулки; 10 – електромагнітне гальмо; 11 – пневмотурбина; 12 – канати; 13 – важелі; 14, 15 – опори

На цих важелях закріплені троси, з'єднані через систему блоків з важелями газоповітряних клапанів та кантувальних кранів. За обертання ексцентрикових шайб їх периметром ковзають ролики важелів, які утримуються в попередньому положенні тягами, що мають стяжні гайки для регулювання ступеню прилягання роликів до шайб.

Важелі мають по два отвори по висоті для кріплення тросу. Якщо трос закріплений на верхніх отворах, його хід за повороту ексцентрикової шайби на 180° менший, ніж при закріпленні на нижніх.

Кантувальний трос за експлуатації розтягується, тому крок штанги кантувального механізму змінюється, а це призводить до порушення повноти закривання та відкривання реверсивних кранів та клапанів. Для контролю за кроком штанг на них закріплюють стрілки, що мають співпадати із стрілками, закріпленими на контрфорсах в тунелі.

Для забезпечення паузи під час кантування частина дуги шайби кранів коксового газу виконана у вигляді окружності. Важіль лебідки, що переводить реверсивні крани в межах $45-135^\circ$, повинен бути вертикальним, щоб запобігти неповного перекриття реверсивних кранів.

Кантувальна лебідка має електропривод, що автоматично (від реле часу) вмикається кожні 20-30 хв у відповідності з вимогами п. 7.230 ПТЕ-2017. На випадок припинення подачі електроенергії або виходу з ладу пускових пристроїв передбачений резервний привід (ручний або пневматичний).

Декарбонізаційна знеграфічуюча лебідка слугує для відкривання та закривання повітряних кришок на газових пушках (рис. 5.13).

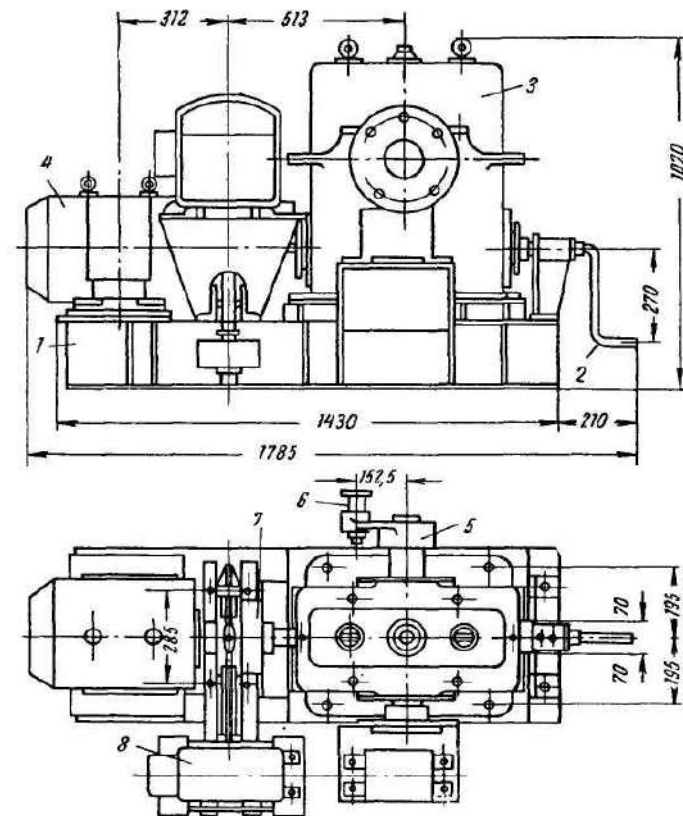


Рис. 5.13. Знеграфічувальна лебідка:

- 1 – фундаментна рама; 2 – ручний аварійний привід; 3 – черв'ячний редуктор;
 4 – електродвигун; 5 – кривошип; 6 – палець; 7 – еластична муфта;
 8 – електромагнитне гальмо

Лебідка складається з черв'ячного редуктору, на вал якого насаджений кривошип, пов'язаний з перевідним важелем. Лебідку приводить в дію електродвигун, що вмикається від реле часу. Тривалість підйому кришок декарбонізації близько 2 с. За відсутності електричного струму вал редуктору може обертатись вручну.

Декарбонізаційна лебідка працює лише за опалення батареї коксовим газом, причому за малих періодів коксування повітряні кришки мають відкриватись дещо більше. Робота декарбонізаційного пристрою контролюється за співпадінням стрілок, закріплених на штанзі та контрфорсі в тунелі.

Контрольні запитання

1. Для чого призначений анкераж коксових печей?
2. Які види анкеражу використовуються на коксових печах та як вони конструктивно виконані?
3. Що спільного та відмінного в конструкціях дверей для різних боків коксової печі?
4. Як улаштована та працює газовідвідна арматура коксових печей?
5. Як обслуговують газовідвідну арматуру коксових печей?

6. Яке призначення та конструкція закладної арматури коксових печей?
7. Яка схема підведення опалювального газу використовується на коксових батареях?
8. Як подають коксовий газ на печах з бічним підведенням?
9. Як подають коксовий газ на печах з нижнім підведенням?
10. Як подають доменний газ та повітря до опалювальної системи коксових печей?
11. Для чого призначене кантувальне приміщення?
12. Для чого і як підігрівають коксовий газ перед подачею до опалювальної системи коксових печей?
13. Які прилади розташовані в кантувальному приміщенні?
14. Як улаштована та як працює кантувальна лебідка?
15. Як улаштована та як працює знеграфічувальна та декарбонізаційна лебідка?

Перелік джерел до 5-го розділу

1. ПТЕ-2017 Правила технічної експлуатації коксохімічних підприємств. – Харків: ДП «Гипрококс», 2018. – 283 с.
2. НАПБ 01.039-2001. Правила пожежної безпеки для коксохімічних виробництв. - Харків: Гипрококс, 2001. – 160 с.
3. Справочник коксохимика. – 3-е изд. Т. 2. Производство кокса // Борисов Л.Н., Волков В.И., Деревич В.В., Калиберда Н.С. Гл. 4. Оборудование коксовых батарей. – Харьков: ИД ИНЖЭК, 2014. – С. 150-219.
4. Лейбович Р. Е. Технология коксохимического производства / Р. Е. Лейбович, Е. И. Яковлева, А. Б. Филатов. – Москва : Металлургия, 1982. – 340 с.
5. Ткачев В. С. Оборудование коксохимических заводов / В. С. Ткачев, М. А. Остапенко. – Москва : Металлургия, 1983. – 360 с.
6. Непомнящий Л. И. Механическое оборудование и металлоконструкции коксовых батарей / Л. И. Непомнящий, Е. В. Дариенко, В. А. Бежин. – Донецк: Унитех, 2011. – 368 с.
7. Шептовицкий М. С. Исследование блочной футеровки дверей коксовых печей / М. С. Шептовицкий, А. А. Лобов, И. В. Шульга и др. // Кокс и химия. 1991. № 8. С. 7-10.
8. Шептовицкий М. С. Развитие конструкций и внедрение газоплотных планирных лючков коксовых печей / М. С. Шептовицкий, А. А. Лобов, И. В. Шульга и др. // Кокс и химия. 1993. № 1. С. 42 – 45.

6. КОКСОВІ МАШИНИ

6.1 Загальна характеристика

Сучасні печі обслуговують наступні коксові машини:

- вугленавантажувальний вагон;
- коксовиштовхувач;
- дверезнімальна машина;
- коксогасильний (за мокрого гасіння) або коксовозний (за сухого гасіння) вагон з електровозом – гасильна пара.

Кожна батарея з 61-77 печей обслуговується повним комплектом машин, за виключенням гасильної пари, яка обслуговує дві батареї. На підставі п. 10.37 ПТЕ-2017 в цеху або на блоці батарей на кожні повні або неповні два робочих комплекти машин має бути один резервний.

За допомогою цих машин здійснюються всі операції із завантаження печей шихтою та видачі коксу.

За коксування трамбованої шихти функції вугленавантажувального вагону та коксовиштовхувача суміщені в ТЗВМ (трамбовочно-завантажувально-виштовхувальній машині), що встановлюється з машинної сторони батареї на шляхах коксовиштовхувача.

За видачі коксу з камери вугленавантажувальний вагон відключає піч від газозбірника, чистить стояки, коксовиштовхувач та дверезнімальна машина знімають двері камери з машинного та коксових боків відповідно. Напрямна ванна дверезнімальної машини встановлюється в піч. Електровоз встановлює коксогасильний (коксозний) вагон під піччю, з якої видають кокс, та дає сигнал на видачу, здійснювану виштовхувальною штангою коксовиштовхувача. Після видачі електровоз транспортує вагон з коксом на гасіння. Напряму ванну видаляють з печі.

У відповідності з п. 10.14 ПТЕ-2017 завантаження печей здійснюється безпосередньо за видачею коксу або через одну піч за роботи з порожньою камерою. Розрив між видачею та завантаженням печі має становити не більше 10 хв в першому випадку та 20 хв – в другому. Як виняток, через інтенсивне утворення «графіту» в пічних камерах, за дозволом головного інженера допускається робота з двома або більше порожніми печами. В цьому випадку припустимий інтервал між видачею та завантаженням збільшується на 10 хв на кожну порожню камеру. Перед завантаженням печі встановлюються двері камери та піч підключається до газозбірника.

При завантаженні печей вугленавантажувальний вагон під'їздить до камери, що завантажувється, закриває кришки стояків, відкриває

завантажувальні люки печі, встановлює на них телескопічні затвори бункерів для шихти, вмикає систему бездимного завантажування та починає випуск шихти, спочатку з крайніх бункерів. Після їх спорожнення ($\approx 80\%$ від маси загального завантаження) починається випуск шихти із середнього бункеру. В цей час за спеціальним сигналом з коксовиштовхувача в печі, що завантажується, відкривається планірний лючок та крізь нього для розрівнювання (планування) шихти в камері подається планірна штанга. Після завершення завантажування з печі видаляється планірна штанга, телескопічні затвори підіймаються, закриваються завантажувальні люки та планірний лючок, вимикається система бездимного завантажування. Вугленавантажувальний вагон під'їздить під вугільну башту, відкриває затвори на розвантажувальних отворах, набирає шихту для завантаження чергової камери, закриває затвори та їде до печі, яку необхідно обробляти.

Механізми коксових машин приводяться в дію від електродвигунів змінного струму напругою 380 В. Живлення машин здійснюється крізь прокладені вздовж батареї тролей. Для вугленавантажувального вагону вони розташовані на 5 м вище від верха печей по центру батареї або з коксового боку. Тролеї електровозу гасильного вагону та коксовиштовхувача розташовують на зовнішніх боках стінок тунелю. Тролеї коксовиштовхувача також можуть підвішуватись на кронштейнах під газозбірником. Тролеї дверезнімальної машини розташовані на кронштейнах, закріплених на верхніх частинах анкерних колон.

Для попередження аварій, полегшення умов праці та безпечної роботи на коксових машинах встановлюють кінцеві та шляхові вимикачі, які обмежують хід робочих органів механізмів, а також передбачають блокування механізмів на машинах, за якого неможлива робота кожного механізму за переїздів машини або несумісній роботі іншого механізму.

Блокування дозволяє попередити аварії, викликані неузгодженістю дій різних машин. Спочатку застосовували електричне блокування крізь спеціальну допоміжну секційну тролєю, що з'єднує машинний та коксовий боки.

Зараз передбачається головним чином безконтактне блокування між машинами з використанням трансформаторного зв'язку між котушками з розімкнутим магнітопроводом.

Коксові машини також мають радіотелефонний зв'язок між собою та з кабіною кантувального приміщення.

Загальні вимоги до безпеки коксових машин визначені НАОП 1.2.10 2.06-85.

6.2 Вугленавантажувальний вагон

У відповідності з п. 10.15 ПТЕ-2017 вугленавантажувальний вагон має бути обладнаний пристроями для виконання наступних робіт:

- механізованого відкривання затворів вугільної башти;
- автоматичного набору заданої кількості шихти з вугільної башти до бункерів вагону;
- відкривання кришок завантажувальних люків;
- посадки та підйому телескопічних затворів на завантажувальні люки;
- автоматичного спорожнення бункерів в заданій послідовності;
- усунення зависань та прискорення сходу шихти з бункерів до камери;
- відкривання та закривання кришок газовідвідних стояків та кранів системи бездимного завантаження;
- чищення труб, колін та привальних поверхонь стояків;
- встановлення завантажувальної машини за віссю камери.

Додатково вугленавантажувальні вагони можуть бути також обладнані пристроями для зважування шихти з відповідними вказівниками та пристроями для відсмоктування газів завантаження, аераторами для прибирання верху печей, а також краном-укосиною, пристроєм для встановлення-виймання термопар тощо.

Шихту до бункерів вагону набирають з вугільної башти.

Вагони мають черв'ячно-гвинтові механізми для відкривання затворів вугільної башти з індивідуальними електроприводами.

Набір шихти з різних відсіків та рядів затворів вугільної башти здійснюють в певному порядку, щоб забезпечити рівномірне сходження вугілля з башти.

Контроль за набором шихти в бункера навантажувального вагону можна здійснювати за об'ємом або за масою шихти.

В сучасних умовах більш розповсюджений перший спосіб. Для цього на кожному бункері навантажувального вагону встановлений датчик заповнення, що є кінцевим вимикачем, який при заповненні бункеру шихтою спрацьовує та вмикає привід механізму закривання відповідного затвору вугільної башти.

Для забезпечення безперервного сходу шихти з відсіків вугільної башти застосовують комплекс пристроїв пневмообвалення, що складається з компресорної станції, повітрязбірників з повітропроводами та комунікацій у вугільній башті. Мінімальний тиск повітря в колекторі 0,25-0,30 МПа, витрата повітря на одне пневмообвалення 5,0-5,5 м³. На нових батареях система пневмообвалення вмикається автоматично за припинення сходу шихти з башти.

Вугленавантажувальний вагон має встановлюватись співосно завантажувальним люкам коксової камери з точністю ± 10 мм.

Перед завантаженням камери коксування шихтою знімають кришки завантажувальних люків. Всі операції з обслуговування завантажувальних люків виконуються з однією установки завантажувального вагону.

Після зняття кришок завантажувальних люків опускають телескопи бункерів завантажувального вагону, висувають шибери та випускають шихту до камери.

Послідовність випуску шихти з бункерів завантажувального вагону визначається технологією бездимного завантаження коксових печей. Звичайно спочатку випускають шихту з крайніх бункерів ($\approx 80\%$ від загальної маси), а після цього – залишок із середнього.

За планування здійснюють прибирання просипів шихти з верху батареї до завантажувальних люків. Потім встановлюють кришки люків, закривають планірні дверцята та вимикають паро-(гідро-)інжекцію в стояках печей.

На сучасних вугленавантажувальних вагонах передбачене механічне управління інжекцією, а також кришками стояків та гідрозатворами клапанних коробок для вмикання завантаженої печі до газозбірників. Для цього у крайніх бункерів завантажувального вагону на кронштейнах під робочою площадкою встановлений механізм, що є черв'ячним редуктором з електроприводом та важелями. За включення двигуна важелі повертаються, рухаючи важільну систему стояку відповідної печі та повертаючи кран інжекції.

Після завершення завантаження печі навантажувальний вагон під'їздить під вугільну башту.

Перед видачею коксу піч має бути відключена від газозбірника. Це досягається шляхом відкривання кришок стояків, при цьому одночасно піднімається клапанна тарілка, що створює гідрозатвор, який і відключає піч від газозбірника.

Відкриті стояки та їх горловини очищують від відкладень «графіту» та нагару. Чищення стояків здійснюють спеціальним механізмом, що складається з каретки з блоком, яка пересувається похилими спрямовуючими рейками за допомогою ланцюгу, навитого на барабан редуктору. На ланцюгу підвішена болванка з рифленою поверхнею («йорж»). За роботи електродвигуна ланцюг змотується з барабану та каретка з «йоржем» під дією власної ваги опускається спрямовуючими рейками. Коли каретка сягає крайнього переднього положення, «йорж» знаходиться над отвором стояку та може здійснювати в ньому зворотно-поступальні рухи у вертикальному напрямку.

На підставі п. 10.27 ПТЕ-2017 стояки чистять перед видачею коксу з камери до відведення дверей.

Роботи на верху печей проводять машиніст навантажувального вагону та 1-2 люкових.

На деяких батареях старої конструкції при заїзді вугленавантажувального вагону під вугільну башту з коксового боку утворюється негабаритний простір між бункером вагону та будівельними конструкціями. Це створює травмонебезпечну ситуацію.

6.3 Коксовиштовхувач

Коксовиштовхувач сучасної конструкції виконує наступні технологічні операції:

- 1) пересування фронтом коксової батареї;
- 2) зняття та установку дверей з машинного боку батареї;
- 3) видачу готового коксового пирога з печі з одночасним знеграфічуванням склепіння коксової камери;
- 4) чищення дверей машинного боку батареї;
- 5) чищення бронею та рам з машинного боку батареї;
- 6) чищення планірного лючку;
- 7) планування вугільного завантаження коксової камери з механічним відкриванням та закриванням планірного лючку.

З метою суміщення різних операцій, одночасно виконуваних коксовиштовхувачем на різних печах, відстань між осями дверезйомного пристрою та планірної штанги дорівнює чотирьом або п'яти відстаням між осями коксових печей, а між осями планірної та виштовхувальної штанг – двом відстаням між осями печей.

Каркас коксовиштовхувача складається з двох частин – верхньої та нижньої (постаменту). На нижньому майданчику розташовані привід механізму пересування, кабіна контакторних панелей, повітрозбірник, компресор, змійовик повітропроводу. На верхньому майданчику розташовані дверезйомний пристрій, виштовхувальна штанга з приводом, планірний пристрій, механізм відкривання та закривання планірних дверцят, бункер для підпланірної шихти, кабіна машиністу.

Проектна швидкість коксовиштовхувачу 100 м/хв. При підході до чергової печі, що видають, дверезйомний пристрій встановлюють співосно з камерою.

Дверезйомний пристрій складається з наступних основних вузлів:

- 1) механізму відкручування та закручування ригельних гвинтів;
- 2) механізму зриву дверей;
- 3) механізму пересування дверезйомної штанги.

Перша частина робочого циклу дверезйомного пристрою складається з наступних операцій: підвід дверезйомної штанги до дверей; захват дверей за

кишені; відкручування ригельних гвинтів; вивід ригелів з крюків рами; зрив дверей (тобто підйом їх на 10-15 мм на захватах); відведення дверезійомної штанги з дверями від печі; підйом дверей на 300-400 мм та поворот їх на 180° для зручності чищення.

Після відводу знятої двері співосно з камерою встановлюють виштовхувальну штангу. Після доповіді з коксової сторони машиністів дверезійомної машини та електровозу про готовність до приймання коксу подають в камеру виштовхувальну штангу та видають кокс. Одночасно знеграфічують склепіння камери.

Тиск повітря на знеграфічування складає 0,5-0,7 МПа. Сопла знеграфічування розташовуються на відстані 100 мм від склепіння камери. Стиснене повітря до сопел знеграфічування подається від компресорного пристрою автоматично одночасно з початком ходу виштовхувальної штанги вперед гнучким шлангом, що намотується на барабан з натяжним пристроєм. Обертання барабану автоматично керується ходом штанги за допомогою закріпленого на ній тросу, а також вантажним натяжним пристроєм. За виходу виштовхувальної штанги з печі повітря відключається також автоматично.

Під час виштовхування коксу здійснюються операції чищення. По завершенні видачі здійснюється друга частина робочого циклу дверезійомного пристрою: підведення дверезійомної штанги з дверями до печі; встановлення ригелів на крюки рами; опускання дверей на поріг рами; закручування ригельних гвинтів; відведення дверезійомної штанги у вихідне положення. Потім для підготовки до планування встановлюється жолоб під планірним лючком. За доповіддю машиніста вугленавантажувального вагону про завершення завантаження шихти з двох крайніх бункерів та початку завантаження із середнього бункеру відкривається планірний лючок та в піч подається планірна штанга.

Планування вугільного завантаження є однією з найвідповідальніших операцій процесу завантаження, від якої залежать:

- 1) рівномірний розподіл шихти за довжиною коксової камери та повнота завантаження;
- 2) потрібні висота підсклепінневого простору (250-350 мм на підставі п. 10.22 ПТЕ-2017), температура в ньому (не більше 820 °С за п. 10.204 ПТЕ-2017), вихід та якість коксового газу і хімічних продуктів;
- 3) ступень ущільнення верхньої частини вугільного завантаження, температура верхньої частини коксового пирогу та якість коксу;
- 4) продуктивність батареї коксових печей;
- 5) час завантаження, загальний машинний час на обробку печі, кількість викидів газу та пилу в атмосферу.

Планірний пристрій коксовиштовхувача є планірною штангою прямокутного перерізу, що рухається від двох роздільних тросів, намотаних на загальний барабан, який обертається від електродвигуна через редуктор та відкриту зубчасту пару. Для ліквідації аварійних ситуацій (видалення штанги з печі за відмови електроприводу) передбачений також ручний привід від штурвалу, закріпленого на швидкохідному валу редуктору.

Швидкість руху планірної штанги 51-92 м/хв.

За правильно встановленої норми набору шихти по бункерах вугленавантажувального вагону та раціональній технології завантажування і планування величина планірного вигребу з однієї камери не повинна перевищувати 100-150 кг. В той же час повна відсутність планірного вигребу також небажана, оскільки при цьому складно контролювати зниження величини разового завантаження шихти до камери коксування та вживати заходів для запобігання цьому небажаному явищу.

За планування шихта має «спливати», спираючись на завантажену шихту. Наприкінці планування відстань від склепіння камери до планіру за правильного регулювання балансирних та опорних роликів має складати в люках з машинного боку 100-110 мм, в середніх люках 80-90 мм та з коксового боку 60-70 мм. Положення планіру в печі перевіряють щомісяця.

Шихта планірного вигребу з жолобу ссипається до бункеру ємністю 3,5-4,5 м³. По завершенні планування планірна штанга вилучається з печі, дверцята планірного лючку зачиняються, жолоб повертається до вихідного положення. Після заповнення бункеру планірного вигребу коксовиштовхувач під'їздить до вугільної башти, де шихту вигребу перевантажують до скипового підйомнику, піднімають на верх батареї та завантажують до бункеру навантажувального вагону з машинного боку.

Коксовиштовхувач обслуговує машиніст та 1-2 деревих. Травмонебезпечним є простір робочого майданчику між виштовхувальною штангою та фасадом батареї. Прохід через цей простір заборонений (за необхідності проходять лише обслуговуючими майданчиками коксовиштовхувача). Знаходитись в зазначеному просторі можуть лише дереві. Також необхідно бути обережним під час знаходження на робочих майданчиках батареї через ризик падіння з висоти

6.4 Дверезйомна машина

Дверезйомна машина сучасної конструкції може виконувати наступні технологічні операції:

- 1) пересування фронтом робочого майданчику з коксового боку батареї;

- 2) зняття та установку дверей печей з коксового боку;
- 3) пересування коксоспрямовуючої ванни;
- 4) чищення дверей, броней та рам з коксового боку.

Для виконання цих операцій на дверезйомній машині передбачені відповідні механізми.

Коксоспрямовуюча ванна встановлюється на окремому причепному візку справа або зліва від дверезйомної частини машини. Необхідність двох виконань дверезйомних машин викликана веденням видачі коксу в напрямку установки гасіння, щоб вагон з розпеченим коксом не проїжджав повз кабіну машиніста дверезйомної машини.

Обслуговуючий майданчик з коксового боку батареї за коксоспрямовуючою ванною є небезпечною зоною, оскільки за руху машини в цьому напрямку машиніст не має огляду. Через малу ширину майданчику з коксового боку практично відсутній зазор між дверезйомною машиною та фасадом батареї. Також при знаходженні на майданчику з коксового боку небезпекою є вагони з розпеченим коксом, що рухаються повз. Дверезйомна машина обслуговується машиністом та одним-двома дверевими. Всі інші працівники можуть знаходитись на робочому майданчику лише через безпосереднє виконання доручених їм робіт, за погодженням з начальником зміни та з відома машиніста дверезйомної машини. Знаходження на робочому майданчику з коксового боку осіб, безпосередньо не зайнятих виконанням робіт, заборонене.

6.5 Коксогасильний (коксівізний) вагон

Коксогасильний вагон слугує для виконання наступних технологічних операцій:

- 1) прийом розпеченого коксу з печі;
- 2) транспортування розпеченого коксу до установки мокрого або сухого гасіння;
- 3) транспортування погашеного коксу до рампи для вивантаження.

Гасильний вагон складається з платформи (рами) з ходовими візками, кузову з розвантажувальними затворами та механізмів управління. Кузов є металевим каркасом, нахиленим під кутом 28° , облицьованим зсередини жаротривкими плитами, між якими залишені температурні зазори 5-8 мм. Дно кузову обшите металевими листами для запобігання дії води на розташовані під ним механізми. Ємність кузову має забезпечувати прийом коксу з однієї камери. Кузов має два бічних розвантажувальних затвори з механізмами автоматичного та ручного управління.

Коксовізний вагон, що використовується для сухого гасіння коксу, виконує лише дві із зазначених вище технологічних операцій. На відміну від коксогасильного вагону, коксовізний вагон не має однобічного нахилу днища кузова, оскільки вивантаження коксу з коксовізного вагону до форкамери установки сухого гасіння здійснюється крізь верх вагону. Кузов має вантажозахватні пристрої для підйому та перекидання.

Пересування коксогасильного (коксівізного) вагону здійснюється електровозом, причепленим з боку, протилежного установці гасіння, щоб за прийому коксу з камери машиніст знаходився за пультом управління та бачив видачу. Електровоз має два самостійних електроприводи, по одному для кожної пари ходових коліс. Швидкість руху електровозу до 4 м/с.

Коксогасильний (коксівізний) вагон з електровозом утворюють в сукупності гасильну пару.

6.6 Механізація та автоматизація операцій із завантаження-видачі печей

Зараз механізовані та автоматизовані майже всі операції із завантаження коксових печей, в т.ч.:

- 1) пневмообвалення шихти в бункерах вугільної башти;
- 2) відкривання та зачинення затворів вугільної башти;
- 3) заповнення та спорожнення бункерів вугленавантажувального вагону;
- 4) знеграфічування стояків та завантажувальних люків коксових печей;
- 5) зняття та встановлення кришок завантажувальних люків та прибирання шихти;
- 6) планування шихти;
- 7) чищення рам та дверей.

Контрольні запитання

1. Які машини обслуговують коксову батарею?
2. Як визначити потрібну кількість комплектів коксових машин на підприємстві?
3. Які функції виконує вугленавантажувальний вагон?
4. Яка послідовність операцій, виконуваних вугленавантажувальним вагоном за видачі коксу та завантаження печей шихтою?
5. Які функції виконує коксовиштовхувач?
6. Яка послідовність операцій, виконуваних коксовиштовхувачем за видачі коксу та завантаження печей шихтою?
7. Навіщо та як здійснюється планування шихти в камері коксування?

8. Які функції та як виконує дверезнімальна машина?
9. Які функції та як виконує гасильна пара?
10. В чому полягає сутність механізації та автоматизації операцій із завантаження шихти та видачі коксу?

Перелік джерел до 6-го розділу

1. ПТЕ-2017 Правила технічної експлуатації коксохімічних підприємств. – Харків: ДП «Гипрококс», 2018. – 283 с.
2. Справочник коксохимика. – 3-е изд. Т. 2. Производство кокса // Калиберда Н. С., Колесников А. Г. Гл. 6. Машины для обслуживания коксовых батарей. - Харьков: ИД ИНЖЭК, 2014. – С. 243-292.
3. Лейбович Р. Е. Технология коксохимического производства / Р. Е. Лейбович, Е. И. Яковлева, А. Б. Филатов. – Москва : Металлургия, 1982. – 340 с.
4. Ткачев В. С. Оборудование коксохимических заводов / В. С. Ткачев, М. А. Остапенко. – Москва : Металлургия, 1983. – 360 с.
5. Непомнящий Л. И. Механическое оборудование и металлоконструкции коксовых батарей / Л. И. Непомнящий, Е. В. Дариенко, В. А. Бежин. – Донецк: Унитех, 2011. – 368 с.

7. УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ

7.1 Джерела виділення забруднювальних речовин

Всі викиди забруднювальних речовин можуть бути поділені на:

- організовані – з вихлопних труб систем аспірації об'єктів транспортування, подрібнення, сепарації, сушки вугільної шихти, а також за перевантажень та розсіву коксу, особливо коксу сухого гасіння;
- неорганізовані – при завантаженні вугільної шихти до камер коксування, видачі та гасінні коксу.

Боротьба з неорганізованими викидами має метою захист довкілля від забруднення та ведеться, як правило, за допомогою технологічних заходів або переведенням неорганізованих викидів в організовані шляхом спорудження спеціальних установок. Організовані викиди зменшують за допомогою очищення в різних апаратах. Заходи зі зменшення викидів, окрім захисту довкілля, одночасно поліпшують і умови праці.

7.2 Уловлювання пилу у вуглепідготовчих цехах та при збагаченні вугілля перед коксуванням на збагачувальних фабриках

У відповідності з п. 7.50 ПТЕ-2017 всі перевантажувальні станції, автодозатори та дробарні відділення, де переробляється вугілля з вологістю менше 9 %, повинні мати пристрої для аспірації запилених місць або гідрознепилювання.

На підставі п. 7.51 ПТЕ-2017 очищення вентиляційних викидів слід здійснювати за допомогою сухих або мокрих пиловловлювачів з відстоюванням шламової води від пилу та поверненням освітленої води на зрошення пиловловлювачів, а шламу – до вугільної шихти.

Найбільш ефективними технічними рішеннями проблеми уловлювання вугільного пилу в діючих виробництвах слід вважати застосування аспіраційних укриттів устаткування та вискоефективних сухих циклонів, а за проектування нових підприємств – централізованих систем аспірації з використанням електрофільтрів.

7.3 Уловлювання вугільного пилу в процесах термічної підготовки вугільної шихти

Відпрацьований теплоносій систем термічної підготовки, окрім пилу, містить ще й хімічні речовини – парогазові продукти початкових стадій

термічної деструкції, компоненти коксового газу, смолу, сірко-, кисень- та азотовмісні сполуки. Тому його очищення слід здійснювати в кілька стадій:

- термokatалітичне спалювання хімічних речовин в апараті з кипучим шаром каталізатору;
- сухе очищення від пилу;
- мокре очищення від пилу.

Таке очищення достатньо складне. Технологія суміщеного процесу термічної підготовки шихти та сухого гасіння коксу має суттєві переваги як з погляду технології та утилізації тепла, так і за своїми екологічними показниками. Сутність цієї технології полягає в змішуванні вологої шихти з розпеченим кусковим коксом та наступному відділенні нагрітої шихти від погашеного коксу.

Дослідно-промислові випробування цього процесу на установці продуктивністю 10-12 т/годину проведені на Криворізькому КХЗ (нині КХВ ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»).

Процес здійснюється в закритому теплообмінному апараті, звідки водяна пара за рахунок природної тяги надходить на очищення до циклону типу ЦН-15 та скидаються в атмосферу. До водяної пари, об'єм якої визначається вологістю шихти, внаслідок нещільностей в апаратах підсмоктується повітря в кількості ~25 % від об'єму пари. Сумарний питомий об'єм виділених газів за вихідної вологості шихти 8,9-9,1 % складає 120-140 м³/т шихти, вміст пилу в цих газах в середньому ~14 г/м³.

Скидуювана пилогазова суміш має температуру ~100 °С. Частки вугільного пилу, які в ній знаходяться, стають центрами конденсації, вкриваються водяною плівкою, завдяки чому вони коагулюються та легко вловлюються в циклоні. Ступень очищення в циклоні сягає 99,2 %, залишкова концентрація пилу 110 мг/м³.

7.4 Бездимне завантаження коксових печей

Бездимність завантаження, як правило, забезпечують шляхом відсмоктування всіх газів завантаження до газозбірника. В 80-х р.р. найпоширенішим був метод евакуації газів завантаження крізь стояки за допомогою *парових інжекторів* (рис. 7.1).

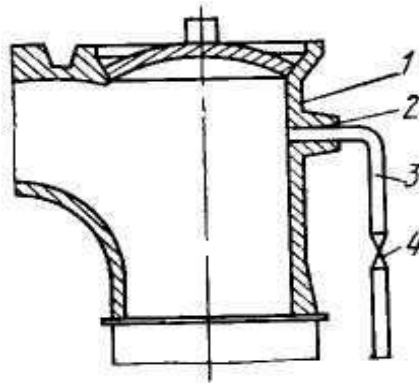


Рис. 7.1. Схема установки форсунки для паровой інжекції на стояку:
1 – стояк; 2 – форсунка; 3 – паропровід; 4 – вентиль

Ефективність відсмоктування залежить від тиску пари у форсунках (0,7-0,9 МПа). Гази завантаження, надійшовши до стояку, охолоджуються паром та зменшуються в об'ємі. При цьому виникає розрідження, під впливом якого до стояку надходять нові порції газів завантаження.

Головним недоліком методу пароінжекції з погляду захисту довкілля є збільшення кількості аміачної води внаслідок конденсації пари, витраченої для відсмоктування газів завантаження (до 15 кг/т шихти).

В останній час переважне розповсюдження отримує *гідроінжекція* з використанням аміачної води циклу газозбірників. Це не потребує пари високого тиску, парова форсунка виключається, використовується одна й та ж сама форсунка і для охолодження газу, і для інжекції, не збільшується об'єм надлишкової аміачної води. Ефективність відсмоктування газів завантаження вища, ніж за пароінжекції. Для реалізації методу необхідний насос тиском до 2-3 МПа та трубопроводи високого тиску для підведення води до форсунок.

У відповідності з п. 10.20 ПТЕ-2017 при завантаженні печей за допомогою паро- або гідроінжекції спочатку по чергово спорожняються крайні бункери вугленавантажувального вагону, а потім – середній з подачею планірної штанги до камери коксування після припинення сходу шихти.

На підставі п. 10.19 ПТЕ-2017 тиск пари або води на інжекцію має забезпечувати розрідження не менше 200 Па під середнім завантажувальним люком на другій годині періоду коксування за спеціально вмикненої для перевірки інжекції.

За вмикання інжекції кришки стояків мають бути зачинені та піч підключена до газозбірнику.

На підставі п. 10.212 ПТЕ-2017 тривалість застосування інжекції газів при завантаженні має бути не більше 6 хв.

У відповідності з п. 10.19 ПТЕ-2017 технологічним регламентом мають бути обов'язково передбачені заходи, що виключають можливість застосування інжекції після закінчення завантаження камер шихтою.

Для контролю витрати води або пари на інжекцію на газозбірниках по боках батареї встановлюють витратоміри зі вторинними приладами, розташованими на щиті в операторському приміщенні.

Досвід застосування гідроінжекції показав, що системи працюють стійко та за тиску води вище 2 МПа відсмоктування газів забезпечується практично повністю. Недоліком цього методу є необхідність регулярного чищення стояків, коліна яких заростають відкладеннями за 7-10 діб. За недотримання графіку чищення порушується форма струменів, внаслідок чого ефективність інжекції різко знижується.

Великим ризиком за використання як гідро-, так і пароінжекції, є збільшення густини та зольності смоли через потрапляння до неї великої кількості вугільного і коксового пилу та, як наслідок, отримання некондиційного пеку.

Тому певна увага приділяється розробці способів бездимного завантаження, що передбачають відсмоктування газів завантаження не крізь стояки, а крізь завантажувальні люки з наступним знешкодженням цих газів за допомогою апаратури, встановленої на вугленавантажувальному вагоні. Як вже зазначалось, завантаження шихти здійснюється у відповідності з п. 10.20 ПТЕ-2017 не одночасно крізь всі люки. Коли йде завантаження крайніх люків, відсмоктування ведуть крізь середній люк, та навпаки.

Існує низка способів, що передбачають *очищення газів завантаження від пилу* з наступною передачею їх до газозбірника. При цьому для ефективного очищення на завантажувальному вагоні необхідно за стиснених умов монтувати апарати двох ступенів очищення газів завантаження (сухої та мокрої), передбачати устаткування для подачі води та вивантаження шламу, пристрої для передачі очищених газів до газозбірника. Все це збільшує масу вагону та витрату електроенергії на його пересування. Значно зростає кількість операцій, виконуваних машиністом навантажувального вагону та люковими, що суттєво ускладнює експлуатацію.

Інший напрямок розробок пов'язаний зі встановленням на вагонах систем для *спалювання газів завантаження* (рис. 7.2).

Це рішення дещо полегшує вагон та спрощує експлуатацію, однак через невідворотні підсмоктування повітря до газів завантаження створюється небезпека виникнення вибухонебезпечних концентрацій в газі, що надходить на спалювання.

Відомий також спосіб *часткового спалювання газів завантаження безпосередньо в підсклепінневу просторі* коксової печі (рис. 7.3).

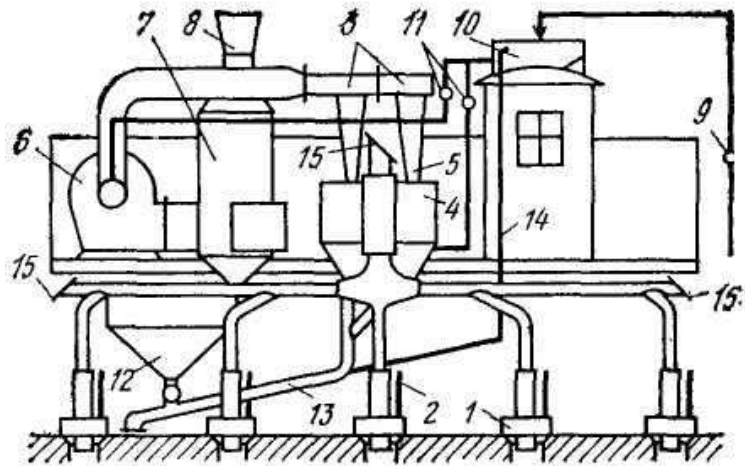


Рис. 7.2. Вугленавантажувальний вагон із системою відсмоктування, спалювання та мокрому очищення газів:

- 1 – телескоп; 2 – пальник; 3 – циклон Вентурі; 4 – вихрова камера; 5 – труба Вентурі; 6 – димосмок; 7 – сепаратор; 8 – труба для скиду газів; 9 – вентиль для регулювання подачі технічної води; 10 – бак для води; 11 – соленоїдні вентилі; 12 – шламосбірник; 13 – труба для скиду шламу; 14 – труба переливу води; 15 – запобіжні клапани

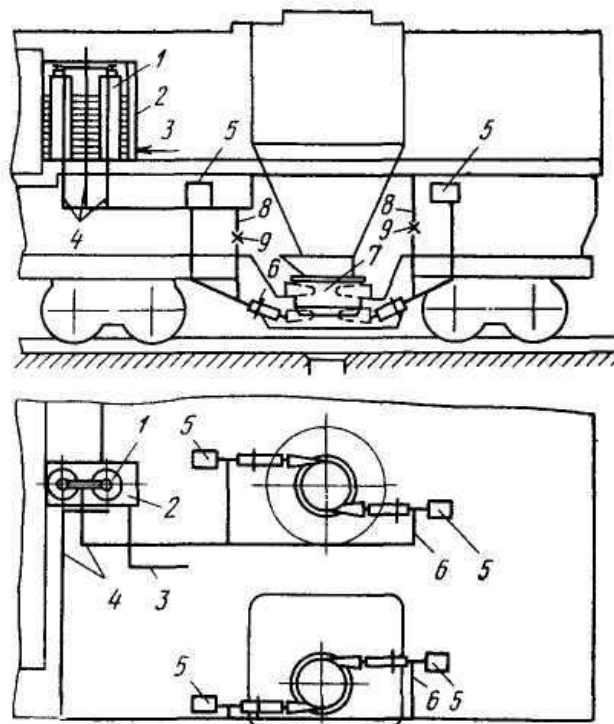


Рис. 7.3. Пристрій для спалювання газів в телескопах навантажувального вагону:

- 1 – газовий балон; 2 – ємність з водою; 3 – водогін; 4 – газопровід; 5 – система електроіскрового запалювання; 6 – пальник; 7 – телескоп; 8 – газовий кран; 9 – відсічний клапан

Цей спосіб усуває потрапляння кисню повітря до системи відсмоктування. Для цього газів відсмоктують з труби, яка на час завантаження вводиться до центрального люку на глибину 20-100 мм до підсклепінневого простору. Повітря, яке підсмоктується до системи, проходить кільцевим зазором між люком та відсмоктувальною трубою і потрапляє до підсклепінневого простору, де завдяки високій температурі взаємодіє з пальними компонентами газів завантаження.

Газів завантаження змішуються з повітрям, підсмоктаним до люку, та частково згоряють на вході до заглибленої телескопічної труби, крізь яку здійснюється відсмоктування. Щоб знизити температуру газу, до труби вприскують воду. Після димосмоку газів знепилюються в циклоні, а потім допалюються в спеціальній топці та скидаються до атмосфери, або спрямовуються до газозбірника.

Необхідність удосконалення технології завантаження протягом тривалого часу була пов'язана з розробками процесу термічної підготовки шихти, оскільки саме завантаження такої шихти є найскладнішим. Текучість та аерованість нагрітої шихти дозволяє застосувати для неї *безвагонні методи завантаження*. Бездимне завантаження шихти трубопроводами за допомогою пари або інертного газу мало значно зменшити викиди в атмосферу. Однак за випробувань винос пилу за трубопровідного завантаження виявився значно вищим, аніж за вагонного методу завантаження. Це у сполученні з вищим рівнем витрат, складністю технічних рішень за вузлами запірно-перемикаючих пристроїв та відсікання інертного газу від вугілля стримали подальші розробки цього методу.

7.5 Вловлювання коксового пилу на установках безпилової видачі коксу

Починаючи з 1976 р. застосовували пересувну систему знепилювання газів видачі, змонтована на дверезнімальної машині. Легкий зонтик сполучався з групою з двох циклонів ЦН-15-800 та димосмоком. Такі системи за випробувань на батареї з обсягом камер 41,6 м³ вловлювали ~750 кг/добу пилу. Однак передбачене проектом видалення пилу з бункерів циклонів шнековими транспортерами виявилось непрацездатним, внаслідок чого циклони швидко забивались пилом, що призвело до інтенсивного зносу димосмоктів та виходу їх з ладу.

1983 р. була введена до експлуатації перша установка безпилової видачі коксу (УБВК) із стаціонарною системою відсмоктування та очищення газів. Вона являла собою систему видалення та знепилювання газів видачі у вигляді зонтика над гасильним вагоном, сполученого з колектором, звідки газів видачі відсмоктувались крізь пиловловлювачі вентилятором типу ВМ-18А

продуктивністю 104 тис м³/год. Знепилювання газів видачі відбувається в осаджувальній камері та апаратах КМП. В наступні роки була змонтована ще низка схожих установок.

Однак стаціонарні системи відсмоктування складні за конструкцією та експлуатацією, їх створення, особливо на відносно невеликих заводах, вимагає значних капітальних витрат. Тому актуальними залишаються і пересувні установки. На одній з таких дослідно-промислових установок витрата очищеного газу становила 38 тис м³/годину, ефективність вловлювання пилу з газів видачі сягала 78,5 %.

На даний час ДП «ГИПРОКОКС» розроблена типова локальна (пересувна) установка безпилової видачі коксу (рис. 7.4).

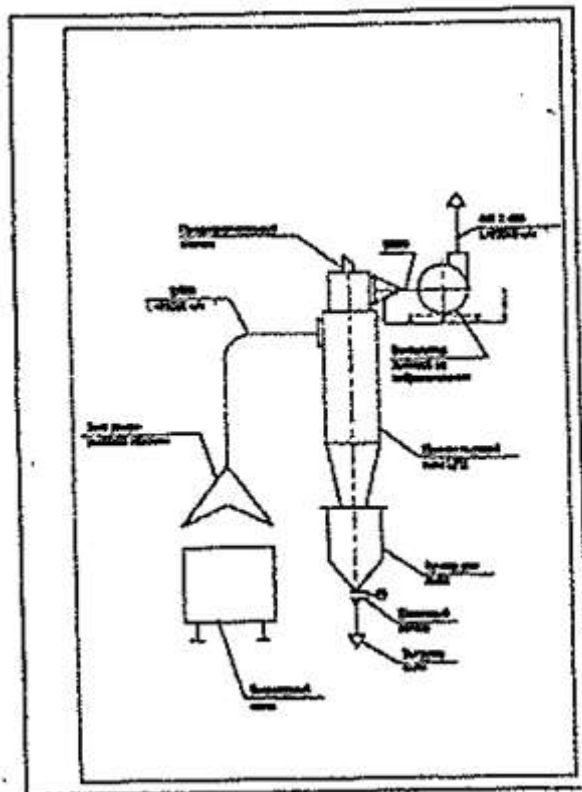


Рис. 7.4. Типова пересувна (локальна) установка безпилової видачі коксу

Відносно низький ступень вловлювання на установках з мокрим очищенням зумовлений поганою змочуваністю коксового пилу. Тому при розробці як стаціонарних, так і пересувних систем слід орієнтуватись, принаймні на першій стадії, на апарати сухого очищення. Найпростішим варіантом є система з конічних циклонів.

ДП «ГИПРОКОКС» розроблена також типова схема стаціонарної установки безпилової видачі коксу, реалізована на батареях № № 3 та 4 КХВ ПрАТ «МК «АЗОВСТАЛЬ» (рис. 7.5).

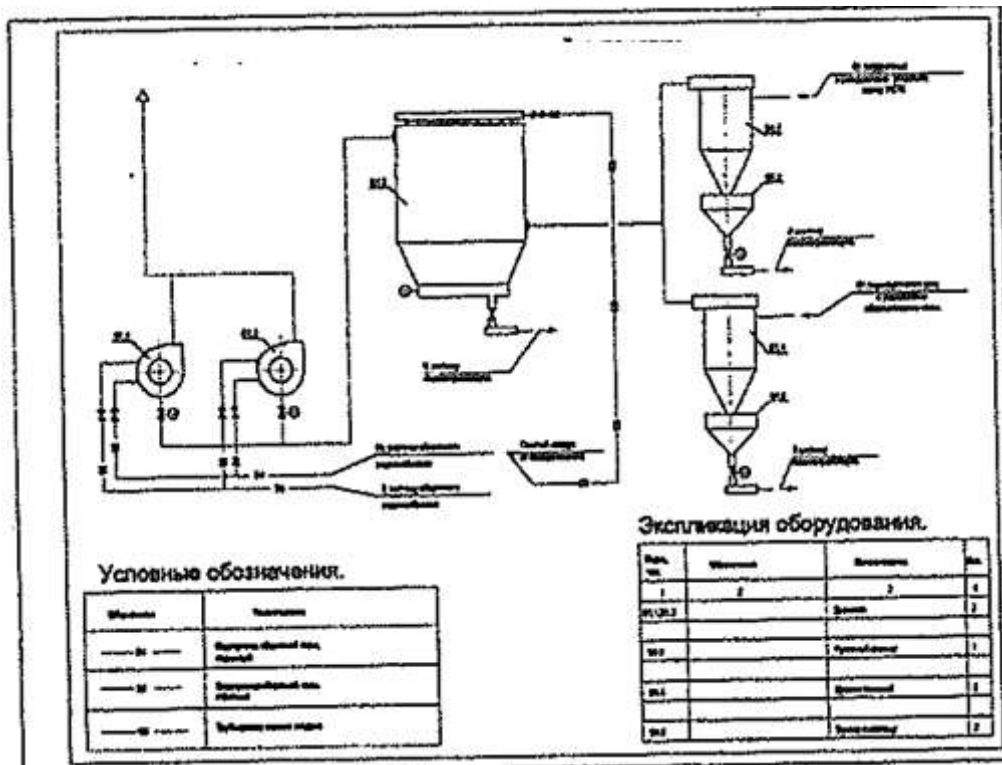


Рис. 7.5. Принципова схема типової стаціонарної установки безпилової видачі коксу

Конструкція цієї установки згідно п. 10.75.1 ПТЕ-2017 складається із зонту, розміщеного на дверезнімальній машині, стикувальних пристроїв для передачі пилогазоповітряної суміші до стаціонарного колектору, прокладеного з коксового боку батареї, та аспіраційного пристрою, що містить димосмоки, циклони для відділення грубодисперсного пилу та рукавних фільтрів для очищення від дрібнодисперсного пилу.

За роботи установки дверезнімальна машина встановлюється навпроти печі, з якої видається кокс, з наступним стикуванням зонту з колектором. Під дією розрідження, створюваного в колекторі димосмоком, відбувається відсмоктування пилогазоповітряної суміші, що виділяється за видачі коксу. Після цього пилогазоповітряна суміш надходить до колектору, звідки спрямовується в систему сухого очищення в дві стадії:

- інерційний пиловловлювач (циклони);
- тканинні (рукавні) фільтри.

Очищена від коксового пилу газоповітряна суміш скидається крізь трубу до атмосфери. Регенерація поглинальної здатності рукавних фільтру здійснюється посекційним продуванням осушеним повітрям.

Основні параметри роботи установки безпилової видачі коксу визначені п. 10.75.2 ПТЕ-2017:

- концентрація коксового пилу у відсмоктуваній суміші – до 8 г/м³;
- температура суміші – близько 70 °С;

- тривалість видачі коксу з однієї камери – 45-50 с;
- кількість печей батареї, з яких видається кокс за годину – 5-6;
- те ж для блоку з двох батарей – 10-12.

Згідно з наказом Мінприроди України № 184 від 30.05.2014 та п. 10.75.3 ПТЕ-2017 кінцева концентрація коксового пилу в пилогазовій суміші після очищення для діючих установок – не більше 50 мг/м³, для знов споруджуваних установок – не більше 35 мг/м³.

На підставі п. 10.75.3 ПТЕ-2017 максимальне розрідження під час роботи установки досягається безпосередньо під час видачі коксу. З метою економії електроенергії на привід димосмоку передбачається частотне регулювання приводу димосмоку зі зменшенням його оборотів в інтервалах часу між видачами коксу.

7.6 Очищення від пилу технологічних газів УСК

У відповідності з п. 10.146 ПТЕ-2017 уловлювання пилу з циркулюючого газу УСК здійснюється до котлоагрегату в пилоосаджувальному бункері та за котлоагрегатом – в пиловловлюючих циклонах.

Ємність збірних бункерів для вловленого пилу розраховується на 8-10 годин роботи. Видалення пилу з бункерів – за допомогою пневмотранспорту.

Нижній рівень пилу в бункерах має утворювати пиловий затвор, який забезпечує герметичність всього контуру циркуляційних газів в УСК.

В складі УСК є два джерела організованих викидів до атмосфери:

- свіча надлишкового теплоносія після димосмоку;
- свіча скидання газу, виділеного з коксу у форкамері.

Конструкцією УСК очищення цих викидів не передбачене, хоча на низці підприємств встановлюють локальні системи пилоочищення скидів (циклони та/або рукавні фільтри).

Запропоновані також наступні технічні рішення з очищення зазначених скидів:

1) спрямування скидних газів форкамери на лінію розрідження димосмоку УСК. Тим самим повністю ліквідуються викиди свічі форкамери, однак відповідним чином збільшується об'єм газів зі свічі надлишкового теплоносія, що знижує екологічну ефективність даного заходу;

2) об'єднання викидів зі свічей форкамери та димосмоку, знепилювання їх в двохступінчастій системі з високоефективних конічних циклонів та спрямування знепилюваних газів до трубопроводу прямого коксового газу. При цьому необхідно забезпечити надійну роботу пиловловлювачів, оскільки потрапляння пилу до прямого коксового газу погіршує якість смоли та пеку;

3) допалювання оксиду вуглецю в об'єднаних знепилених викидах свічей УСГК та спрямування очищених газів на скид. Цей варіант, хоч і потребує спорудження знепилювального устаткування та спеціального реактору для допалювання газів, видається нам найприйнятним;

4) термічне допалювання оксиду вуглецю в циклі УСГК шляхом подання повітря до циркулюючого газу перед пилоосаджувальною камерою та до верхнього кільцевого каналу. Однак це призводить до збільшення «угару» коксу, об'єму циркулюючого газу та відповідному зростанню викидів крізь свічу надлишкового теплоносія.

7.7 Уловлювання коксового пилу з аспіраційного повітря УСГК та косо сортровки

У відповідності з п. 10.147 ПТЕ-2017 установка сухого гасіння має бути обладнана аспіраційною та приточною вентиляційною системами.

Аспіраційна система повинна забезпечувати вентиляцію розвантажувальних пристроїв та конвеєрів охолодженого коксу. Приточна вентиляція призначена для оновлення повітря в приміщеннях конвеєрів коксу. Аспіраційні системи повинні обов'язково мати сухе очищення від пилу. Іноді передбачається ще й додатковий ступінь мокрого очищення.

Технологічне обладнання УСГК та косо сорткування обладнують наступними аспіраційними системами:

1. вузол завантаження УСГК – скруббер ЦС;
2. вузол вивантаження УСГК – групи циклонів ЦН, скруббер ЦС;
3. перевантажувальні вузли та станція знепилювання – група циклонів, скруббер КМП;
4. валковий та інерційний грохоти – колектори ВК, скрубери КМП;
5. вузол відвантаження коксу до вагонів – група циклонів ЦН, скрубери КМП.

На підставі п. 10.148 ПТЕ-2017 експлуатувати УСГК з непрацюючою аспіраційною системою не дозволяється.

Для запобігання такої експлуатації передбачається блокування, що робить неможливим вивантаження коксу з УСГК за непрацюючої аспіраційної системи.

У відповідності з п. 10.150 ПТЕ-2017 бункера пилу сухого очищення аспіраційної системи підключаються до пневмотранспорту.

На підставі п. 10.151 ПТЕ-2017 на апарати мокрого очищення аспіраційних систем УСГК має бути забезпечене стале подавання освітленої або свіжої води та відведення шламових вод.

Експлуатація аспіраційної системи без подачі води на апарати мокрого очищення не дозволяється.

7.8 Захист атмосфери та контроль роботи пиловловлювачів

Вибір та облаштування точок відбору проб.

Точки відбору проб обирають на доступних, за можливістю прямих ділянках газоходу. Відстань до найближчого повороту газоходу, як правило, повинна перевищувати три діаметри газоходу. За відсутності достатньо довгих прямолінійних ділянок місце відбору проб повинно знаходитись ближче до кінця ділянки (звичайно в третій чверті довжини обраної ділянки за ходом газу). Штуцери для відбирання проб є відрізками труб внутрішнім діаметром 30-35 мм та висотою 25-30 мм. За необхідності виміру дисперсного складу пилу діаметр штуцера має бути збільшений до 50 мм. Штуцери розміщують, як правило, в площині найближчого повороту газоходу. За наявності поблизу точок відбору поворотів газоходу в різних площинах точку відбору облаштовують двома штуцерами у взаємно перпендикулярних площинах. Поза вимірюванням штуцери мають бути завжди закриті дерев'яними або гумовими корками. За температури газу більше 150 °С штуцер закривають металевою кришкою з різьбою.

Приладне устаткування

За пилогазових вимірювань звичайно визначають температуру, розрідження (тиск) та швидкість газу в газоході; вимірюють гідравлічний опір пиловловлювачів; відбирають проби на запиленість та визначають дисперсний склад пилу.

Приладне устаткування для вимірів звичайно містить термометри, манометри, пневмометричні трубки з мікроманометрами, установки для відбору проб газу зі збуджувачами витрати та витратомірами, імпактори для дисперсного аналізу пилу.

Вимірювання витрати газу

Розрахунок витрати газу здійснюють після визначення усередненого коефіцієнту нерівномірності розподілу швидкостей за відомими формулами:

$$Q = 3600 \cdot w_{\text{сер}} \cdot F, \quad (7.1)$$

де 3600 – кількість секунд в годині; Q – витрата газу, м³/годину; F - площа перерізу газоходу, м²; $w_{\text{ср}}$ - середня величина швидкості газу в газоході, м/с:

$$w_{\text{ср}} = \alpha_{\text{ср}} \cdot w_o, \quad (7.2)$$

де w_o – швидкість газу в центрі газоходу, м/с; $\alpha_{\text{ср}}$ – коефіцієнт розподілу швидкостей в даному перерізі газоходу:

$$\alpha_{\text{ср}} = \frac{\sum \alpha_n}{n}; \quad (7.3)$$

де n – кількість точок вимірювань; α_n – коефіцієнт розподілу швидкостей для n -ї точки вимірювань:

$$\alpha_n = \frac{w_n}{w_o}; \quad (7.4)$$

де w_n – швидкість газу в n -й точці вимірювань:

$$w_{o(n)} = \sqrt{2gh_{o(n)}k\rho}; \quad (7.5)$$

де g – прискорення сили тяжіння, 9,81 м/с²; $h_{o(n)}$ – динамічний напір в центрі (n -й точці) вимірювань; k – коефіцієнт трубки; ρ – густина газу в газоході, кг/м³:

$$\rho = \rho_0 \cdot \frac{T_0}{p_0} \cdot \frac{p - p_p}{273 + t}; \quad (7.6)$$

де $T_0=273$ К – абсолютна температура, що відповідає 0 °С; P_o – стандартне значення атмосферного тиску, 101,3 кПа; P – фактичне значення атмосферного тиску (барометричний тиск), кПа; P_p – розрідження в газоході, кПа; t – температура газу, °С; ρ_0 – густина газу за 0 °С та 101,3 кПа, для продуктів спалювання визначається експериментально або розраховується за їх складом:

$$\rho_0 = 0,01 \cdot (1,96\text{CO}_2 + 1,25\text{N}_2 + 1,43\text{O}_2 + 0,80\text{H}_2\text{O}), \quad (7.7)$$

де CO_2 , N_2 , O_2 , H_2O – об'ємна частка відповідного компоненту в продуктах спалювання, %; 1,96; 1,25; 1,43; 0,80 – густина відповідного компоненту за 0 °С та 101,3 кПа, кг/м³.

Вимірювання запиленості газу

Вимірювання запиленості газу здійснюють за нормального технологічного режиму роботи та відсутності порушень правил технічної експлуатації устаткування аспіраційних систем і наявних пиловловлювачів з дотриманням наступних основних вимог:

- 1) алонж з набиванням до та після відбору проб має бути висушений до сталої маси і після охолодження в ексикаторі зважений на аналітичних вагах;
- 2) система пробовідбирання від носика пробовідбірною пристрою до витратоміру включно має бути герметичною;
- 3) відбір проб здійснюється з дотриманням умови ізокінетичності;
- 4) за відбору проб необхідно фіксувати температуру та розрідження проби газу у витратомірі, час початку та закінчення відбирання;
- 5) за перенесення та оброблення фільтрів і алонжів не припускається просипання вловленого пилу;
- 6) за обробки фільтрів треба користуватись пінцетом, брати фільтри руками не можна.

Розрахунок запиленості газу в даному перерізі здійснюють за формулами:

$$c = \frac{\Delta G}{q_n}, \quad (7.8)$$

$$c = \frac{\Delta G}{\tau q_0}, \quad (7.9)$$

де c – запиленість газу, г/м³; ΔG – збільшення маси фільтру (алонжу), мг; τ – тривалість відбирання проби, с; q_0 – витрата в дм³/с газу під час відбирання проби, приведена до 0 °С та 101,3 кПа:

$$q_0 = q \frac{T_0}{p_0} \frac{p - p_p}{273 + t}; \quad (7.10)$$

де q – витрата газу під час відбирання проби за умов витратоміру, дм³:

$$q = 0,785 \cdot d^2 \cdot w_o, \quad (7.11)$$

де d – внутрішній діаметр носіку пробовідбірною пристрою, мм; w_o – швидкість газу в точці відбору проби, м/с.

Ступень очищення газу визначається за відношенням кількостей пилу, що надійшов та не вловився:

$$\eta = \frac{П_1 - П_2}{П_1}, \quad (7.12)$$

де η – ступень очищення газу від пилу в частках одиниці; $П_1$ – кількість пилу, що надійшла до пиловловлювачу, кг/годину:

$$П_1 = c_1 Q_1, \quad (7.13)$$

де c_1 – запиленість газу на вході до пиловловлювачу, г/м³; Q_1 – витрата газу в газоході до пиловловлювача, тис м³/годину.

Кількість пилу, винесеного з пиловловлювачу в кг/годину:

$$П_2 = c_2 Q_2, \quad (7.14)$$

де c_2 – запиленість газу після пиловловлювачу, г/м³; Q_2 – витрата газу в газоході після пиловловлювачу, тис м³/годину.

7.9 Техніко-економічний аналіз за вибору пиловловлюючого устаткування

Ступінь очищення та вартість установки пов'язані між собою співвідношенням:

$$1 - \eta = e^{-aK}, \quad (7.15)$$

де η – ступінь очищення; $1-\eta$ – частка маси часток, скинутих до атмосфери, від загальної маси часток, які надійшли на очищення; $e=2,72$ - основа натуральних логарифмів; K – капітальні вкладення; a – коефіцієнт пропорційності.

За збереження об'єму очищуваних газів та ефективності їх очищення економічний ефект визначається за формулою:

$$E = (B_1 - B_2) V. \quad (7.16)$$

Або:

$$E = \left(C_1 + \frac{K_1 \left(1 + \frac{p}{100}\right)^T}{T} \right) - \left(C_2 + \frac{K_2 \left(1 + \frac{p}{100}\right)^T}{T} \right), \quad (7.17)$$

де B_1 та B_2 – приведені витрати на одиницю об'єму газів, очищуваних за допомогою базової та нової техніки; C_1 та C_2 – собівартість очищення газів за використання базової та нової техніки; V – річний об'єм очищуваних газів; T – заданий термін окупності; p – ставка банківських відсотків за кредитом.

Якщо капітальні витрати на новий об'єкт вищі, а експлуатаційні витрати нижчі, ніж у базового об'єкту, то термін окупності додаткових капітальних вкладень в роках визначається за формулою:

$$T = \frac{K_2 - K_1}{C_1 - C_2} \leq 7. \quad (7.18)$$

За відсутності базового варіанту (аналогу) для порівняння можна використовувати формулу:

$$E = \left(\Pi - \frac{K \left(1 + \frac{p}{100}\right)^T}{T} \right) V, \quad (7.19)$$

де V – річний об'єм очищуваних газів; K – питомі капітальні витрати на газоочисну установку, Π – додатковий прибуток від впровадження нової установки, наприклад внаслідок утилізації вловленого пилу та/або зниження плати за викиди, які визначаються згідно із розділом VIII (ст. 243) Податкового кодексу України за формулою:

$$Z = \sum_{i=1}^n A_i M_i, \quad (7.20)$$

де Z – збір за викиди, грн.; i – індекси (номери) видів контрольованих забруднювальних речовин; n – їх загальна кількість; A_i – норматив плати в грн за 1 т маси i -го викиду; M_i – маса викиду i -ї забруднювальної речовини, т.

Контрольні запитання.

1. Які види джерел викидів забруднювальних речовин існують на коксохімічних підприємствах?

2. Які заходи вживають для уловлювання пилу у вуглепідготовчих цехах та на вуглезбагачувальних фабриках?

3. Як очищують від пилу надлишковий теплоносій установок термічної підготовки шихти?
4. Як забезпечують бездимність завантаження коксових печей методом інжекції?
5. Як здійснюють спалювання газів завантаження вугільної шихти?
6. В чому полягала мета розроблення безвагонного методу завантаження вугільної шихти та які складнощі при цьому виникли?
7. Які типи установок безпилової видачі коксу розроблені ДП «ГИПРОКОКС»?
8. Які технологічні параметри та ефективність роботи установок безпилової видачі коксу?
9. Як очищують від пилу технологічні гази УСГК?
10. Яке устаткування використовують для очищення аспіраційного повітря УСГК та коксортировок?
11. Як улаштовують точки відбору проб технологічних газів на запиленість?
12. Яке приладне обладнання використовують для контролю роботи пиловловлювачів?
13. Як вимірюють витрату запиленого газу?
14. Як розраховують запиленість газу?
15. Як визначають ступінь очищення газу від пилу?
16. Чим визначається економічна ефективність роботи пиловловлюючого устаткування?
17. Як розраховується плата за викиди забруднювальних речовин в атмосферу?

Перелік літератури до 7 розділу

1. ПТЕ-2017 Правила технічної експлуатації коксохімічних підприємств. – Харків: ДП «Гипрококкс», 2018. – 283 с.
2. Трембач Т. Ф. Системы санитарно-технического и экологического назначения в углепродготовительных цехах // Справочник коксохимика. – 3 изд. Т. 1. Угли для коксования. Обогащение углей. Подготовка углей к коксованию / Т. Ф. Трембач. – Харьков: ИД ИНЖЭК, 2010. С. 462 – 468.
3. Трембач Т. Ф. Системы экологического и санитарно-технического назначения в коксовых цехах // Справочник коксохимика. – 3 изд. Т. 2. Производство кокса / Т. Ф. Трембач. – Харьков: ИД ИНЖЭК, 2014. С.554 – 575.
4. Алексеев Г. И. Экологическая безопасность коксохимического производства // Справочник коксохимика. – 3-е изд. Т. 5. Коксохимическое

производство. Проектирование, сооружение и ввод в эксплуатацию. Экологическая и промышленная безопасность / Г. И. Алексеев, А. Л. Борисенко, Л. Н. Борисов и др. – Харьков: ФЛП Данилко Н. С., 2016. – С. 399-450.

5. Збыковский Е. И. Повышение эффективности работы установок сухого тушения кокса / Е. И. Збыковский, А. В. Голубев, А. А. Топоров, И. В. Шульга. Под ред. И.В. Шульги – Покровск: ДВНЗ «ДонНТУ», 2017. – 163 с.

6. Сінкевич І. В. Екологія підприємств галузі / І. В. Сінкевич, І. В. Шульга, А. Б. Григоров – Харків: НТУ ХПІ, 2011. – 80 с.

7. Непомнящий Л. И. Механическое оборудование и металлоконструкции коксовых батарей / Л. И. Непомнящий, Е. В. Дариенко, В. А. Бежин. – Донецк: Унитех, 2011. – 368 с.

8. Жуковина О. В. Промислова екологія / О. В. Жуковина, І. В. Шульга. – Харків: НФАУ – Золоті сторінки, 2004. – 144 с.

9. Лейбович Р. Е. Технология коксохимического производства / Р. Е. Лейбович, Е. И. Яковлева, А. Б. Филатов. – Москва : Металлургия, 1982. – 340 с.

10. Хаджиогло А. В. Бездымная загрузка коксовых печей / А. В. Хаджиогло, В. Г. Зашквара, В. Н. Бутко и др. – Москва: Металлургия, 1978. – 184 с.

12. Зингерман Ю. Е. Внедрение установок беспылевой выдачи кокса / Ю. Е. Зингерман, В. Б. Каменюка, Т. Ф. Трембач // Кокс и химия. 2004. № 7. – С. 38-40.

8 БУДІВНИЦТВО, ПУСК ТА РЕМОНТИ КОКСОВИХ БАТАРЕЙ

8.1 Вогнетривкі матеріали для коксових печей

За ступенем вогнетривкості в °С застосовувані в пічній техніці вироби поділяють наступним чином:

- вогнетривкі – 1580-1770;
- високовогнетривкі – 1770-2000;
- вищої вогнетривкості – більше 2000.

В коксових печах поки що використовують лише вогнетривкі вироби.

Головним матеріалом для кладки сучасних коксових печей є дінас, з якого виконують стіни камер, косохідну зону та стіни регенераторів. Дінасові вогнетриви виготовляють з кварцитів, що містять 96-97 % діоксиду кремнію SiO_2 та невеликої кількості домішок (CaO , Al_2O_3 , Fe_2O_3 тощо). Вони характеризуються високою вогнетривкістю, великою температурою деформації, але мають недостатню термічну стійність в зоні низьких температур: нижче 600 °С та особливо нижче 300 °С. Дінас за нагрівання в певних температурних інтервалах (110-117 °С, 140-157 °С, 573 °С) розширяється нерівномірно зі зміною об'єму $\pm(1,77-1,80)$ %, а в інтервалі температур 229-252 °С зміна об'єму складає $\pm 3,7$ %, що пов'язане з перетворенням його складових – модифікацій кремнезему (тридіміту, кристобаліту, кварцу) – з однієї кристалічної форми до іншої. Через це у вказаних інтервалах температур розігрів коксових батарей за їх підготовки до пуску ведуть уповільнено. Оскільки низькотемпературні (до 700 °С) перетворення кремнезему є оборотними, не можна допускати охолодження та різкого коливання температур кладки голівок камер коксування та стін регенераторів.

Для дінасових виробів характерне збереження ними механічної міцності за нагріву до високих температур та мала газопроникність. Добре обпалений дінас має збільшуватись в об'ємі в межах 1,5-1,7 % та мати мале залишкове (додаткове) зростання за 1450 °С – не більш ніж 0,2 %. Згідно технічних умов, дінасова цегла для зони вертикалів має характеризуватись наступними основними показниками:

температура початку деформації під навантаженням 1,96 кПа – не менш ніж 1650 °С;

– густина – 2,34 т/м³;

– межа міцності за стиснення – не менш ніж 29,4 МПа.

Ділянки кладки, що працюють за відносно низьких температур та з помітними коливаннями температур, виконують з алюмосилікатних вогнетривів

(шамоту). Шамотні коксові вироби мають достатньо високу вогнетривність, але значно нижчі температури початку деформації під навантаженням. Технічні вимоги до шамотних вогнетривів представлено в табл. 8.1.

Таблиця 8.1 – Технічні вимоги до шамотних вогнетривів

Показники та одиниці виміру	Числові значення для марок вогнетривів			
	ШК-38	ШК-37	ШК-35	ШК-28
Вміст Al_2O_3 , %, \geq	38	37	35	28
Вогнетривкість, $^{\circ}C$, \geq	1740	1730	1710	1680
Додаткова усадка за $1350^{\circ}C$, %, \geq	0,3	0,4	0,4	0,6
Застосування	Футерування дверей	Футерування дверей, пальники	Стіни регенераторів, крайні подові та склепіневі цеглини	Решітчаста насадка, колосникова решітка

8.2 Вогнетривкі вироби для кладки коксових печей

Вогнетривкі вироби за формою поділяють на:

- нормальну цеглу;
- фасонні вироби.

Для нормальної динасової та шамотної цегли встановлені наступні нормальні розміри (мм):

- великий формат - $250 \times 123 \times 65$;
- малий формат - $230 \times 113 \times 65$.

Вогнетривкі вироби викладають на розчинах, виготовлених з вогнетривких порошків (мертелів). Кожен вид вогнетриву кладуть лише на відповідному розчині.

Мертелі повинні мати наступні властивості:

А) при замішуванні на воді утворювати пластичний розчин з оптимальною в'язкістю, який добре зчеплюється з цеглою, заповнює весь проміжок (шов) між цеглинами та не витікає з нього;

Б) вогнетривкість та температура плавлення, близька (але не вища) до температури плавлення цегли;

В) добра спіклівість за високих температур у щільний черепок, що приварюється до з'єднаних цеглин.

Динасовий мертель складається з природних кварцитів (силікатного піску), бою дінасового кирпича із додаванням вогнетривкої глини (10-12 %). Для шамотної кладки застосовують розчин на основі 65 % шамотного порошку та 35 % пластичної вогнетривкої глини.

Для приготування мертелів сировинна суміш подрібнюється кульовими млинами до 97 % вмісту класу менше 1мм, в т.ч. класу менше 0,2 мм – не менш ніж 65-80 %.

8.3 Кладка коксових печей

Кладку печей ведуть у відповідності з робочими кресленнями (порядковками). Кожен ряд кладки перевіряється представником замовника або за його дорученням – спеціалізованою організацією, про що складається відповідний акт.

Для зв'язку окремих цеглин між собою в кожному ряді та в поєднаних рядах для надання кладці монолітності та міцності кладку виконують на матеріальних швах, утворюваних розчином. Товщина матеріальних швів, прийнята в проєктах кладки коксових печей, складає 4-5 мм.

За конструювання печей необхідно враховувати розширення кладки за нагрівання. На ділянках кладки, де є суцільні порожнини або прорізи (наприклад, стіни камер коксування або регенераторів), розширення відбувається внаслідок звужування цих порожнин. На ділянках, де немає суцільних прорізів (наприклад, косохідна зона), для компенсації температурного розширення залишають температурні шви.

Для запобігання впливу на кладку атмосферних опадів та низьких температур над майданчиком будівництва зводять опалювану споруду – тимчасовий тепляк, який розбирають по завершенні будівництва.

8.4 Сушка кладки коксових печей

Сушка та розігрів коксових печей є двома послідовними та взаємопов'язаними стадіями єдиного технологічного процесу.

Сушка полягає в поступовому видаленні вологи з масиву кладки.

За вологості цегли в готовій кладці 1,5 % та матеріальних швів 25-30 % загальна кількість води в кладці становить 12-14 т для однієї камери корисним об'ємом 41,3 м³ та 800-900 т для батареї з 35 печей.

На діючому підприємстві нові батареї сушать та розігрівають коксовим або доменним газом. За сушки та розігріву першої батареї нового заводу використовують тверде паливо або природний газ.

За сушки та розігріву продукти спалювання з тимчасових виносних топків, розбавлені крізь повітряні отвори вторинним повітрям до потрібної температури та об'єму, надходять до нижньої частини камери коксування крізь отвори в цегляній кладці, що закривають дверний проріз. Піднімаючись догори, ці гази виходять крізь отвори, передбачені спеціально для розігріву печей, до збірного каналу над опалювальними простінками.

Зі збірного каналу гази розподіляються за опалювальними вертикалами, спускаються ними та косими ходами надходять до регенераторів, з яких крізь подовий канал та лежаки виходять на димову трубу і потім – до атмосфери.

Переваги такого технічного рішення:

А) досягається необхідний розподіл температур за висотою печей, що дозволяє без різких коливань вести нагрів окремих зон кладки;

Б) найвідповідальніші ділянки кладки нагріваються за найсприятливіших умов: стіни камери – зсередини та з боку вертикальних опалювальних каналів, корнюрна зона – з боку поду камер, косих ходів та регенераторів;

В) відносна легкість та простота контролю процесів сушки та розігріву.

Рішення про початок сушки та розігріву коксової батареї приймається замовником за поданням генерального підрядника будівництва.

Сушка, розігрів та переведення на сталий обігрів коксових батарей здійснюються за спеціально розробленим графіком.

Задача сушки та розігріву коксових батарей ускладнюється через алотропічні перетворення дінасу в певних інтервалах температур (100-117 °С, 140-163 °С, 180-270 °С, 550-600 °С, 800-850 °С), що призводить до різких змін його об'єму. Крім того, через нерівномірність прогріву в різних зонах кладки ці перетворення відбуваються неодноразово. Тому головним засобом, що дозволяє запобігти руйнуванням кладки, є повільний підйом температур.

На стадії сушки швидкість підйому температури кладки має складати 9-10 °С/добу. Сушку завершують за досягнення температури нагорі вертикалів 125-135 °С. Загальна її тривалість 9-10 діб.

Основні параметри, що підлягають контролю за сушки та розігріву коксових печей:

А) витрата палива;

Б) коефіцієнт надлишку повітря;

В) температура в окремих точках кладки (верх вертикалів та регенераторів, подові канали);

Г) тиск та розрідження за різними ділянками опалювальної системи.

8.5 Розігрів коксових печей

За розробки графіку розігріву слід використовувати наступні вихідні дані:

А) якість використаних за кладки вогнетривів (максимальне розширення достатньої кількості зразків дінасової цегли з різних зон кладки з інтервалом 20-50 °С, за практичними даними середнє лінійне розширення за розігріву дорівнює 0,03-0,04 %);

Б) об'єм кладки, що підлягає розігріву;

В) практика розігріву інших батарей.

На початку розігріву температура в регенераторах має становити 95 % від температури в вертикалах, а температура в подових каналах – 70 % від температури в регенераторах. Наприкінці розігріву ці величини мають становити 85 та 40 % відповідно.

Розігрів закінчують за досягнення температури в вертикалах 750-800 °С. Загальна тривалість розігріву становить 61-65 діб.

8.6 Пуск коксових печей

По завершенні розігріву печі переводять на сталий обігрів з вмиканням кантувального пристрою. Після цього закладають входи та виходи зі збірних каналів, демонтують тимчасові топки та випробовують коксові машини.

Встановлення дверей на коксові камери здійснює замовник за поданням генерального підрядника при відповідній готовності коксових машин та іншого обладнання батареї, підготовці експлуатаційних кадрів і готовності решти об'єктів пускового комплексу до випробовування.

Перед пуском батареї необхідно забезпечити:

- повне завершення будівельно-монтажних робіт за всіма об'єктами пускового комплексу, особливо за тими, що мають технологічне значення;
- забезпечення комплектним марочним запасом вугілля на 7-10 діб;
- досягнення потрібного рівня температур (в кладці вертикалів не нижче 900-950 °С, нагорі регенераторів 700-750 °С, у вертикалах на низхідному потоці 1100-1150 °С).

Тривалість передпускових робіт – 7-10 діб. Загальна тривалість сушки, розігріву та підготовки батареї до пуску – до трьох місяців.

Завантаження коксової батареї шихтою здійснюється замовником за поданням голови приймальної комісії. Печі до газозбірнику підключають після завантаження шихтою 7-8 камер. Перед підключенням печей газозбірник та перекидний газопровід заповнюють паром. Після підключення печей подають аміачну воду на зрошення газозбірнику, та батарею вмикають до загальнозаводської мережі, поступово відкриваючи засувку прямого газу.

Період коксування за пуску печей складає 24 години. Після введення коксової батареї до експлуатації та підписання акту приймальної комісії починається робота з регулювання обігріву батареї та освоєння проектної потужності за спеціально складеним графіком. Період коксування зменшують поетапно з кроком 0,5-1,0 годину до проектного значення. Тривалість роботи батареї на кожному періоді коксування – 10-30 діб. В цей час здійснюють регулювальні роботи. Загальна тривалість освоєння батареї – до 6 місяців.

Акт приймання комплексу коксової батареї до сталої експлуатації підписується приймальною комісією після видачі коксу з усіх печей за стабільної роботи на проектному періоді.

8.7 Умови експлуатації вогнетривів у коксових печах

Кладка коксових печей має безперервно працювати протягом 20 та більше років за умов одночасних механічних, фізико-хімічних та термічних впливів.

Умови експлуатації вогнетривів в окремих зонах та елементах кладки коксової печі наступні:

А) в подових каналах регенераторів вогнетривка кладка піддається впливу різких температурних коливань в місцях входу та виходу газових потоків з температурою 30-450 °С;

Б) насадкова цегла регенераторів в нижніх рядах піддається різким теплозмінам, а в верхніх рядах – впливу високих температур та проникаючого мінерального та вугільного пилу;

В) крайні корнюрні цеглини піддаються впливу різких коливань температур та вологи за надходження до корнюрів коксового газу для опалення, а наступного кантування – повітря на знеграфічування (декарбонізацію);

Г) на решті протяжності корнюру його цеглини піддаються зсередини впливу нагрітих повітря та продуктів спалювання і зсередини – коксового газу. Через різницю температур цих потоків виникають температурні напруги. Порушення герметичності корнюрів призводить до просмоктувань газу та місцевих вогнищ перегріву;

Д) вогнетриви кладки камер піддаються впливу механічних напруг від незкомпенсованого тиску розпирання вугільної шихти, ваги устаткування та розташованих вище конструкцій коксової батареї, на них передається частина зусилля видачі коксу та ударні впливи при завантаженні печей. Крім того, за зняття дверей, видачі коксу та завантаження холодної шихти кладка піддається різким теплозмінам, особливо в голівочних частинах камери, де температура може падати нижче 825 °С, що призводить до алотропних перетворень дінасу.

Таким чином, найважчими є умови експлуатації внизу камери та по її краях. Саме там виникають найбільш інтенсивні руйнування кладки – подрізи, тріщини, раковини. Через перегрів кладки відбуваються її прогари та ошлакування.

8.8 Ремонт кладки коксових печей

Своєчасне виявлення та усунення пошкоджень вогнетривкої кладки є необхідною умовою забезпечення тривалої та ефективної роботи коксових батарей. Пошкодження малих розмірів легше ліквідувати, а вогнетривкі замазки на малих ділянках стійкіші за наступної експлуатації.

Моніторинг стану кладки здійснюється шляхом систематичних вимірювань та оглядів у відповідності з п. п. 10.295-10.301 та таблицями 10.3 і 10.4 ПТЕ-2017. Їх результати фіксуються в спеціальному журналі та є підставою для складання графіку ремонтів.

На підставі п. 10.304 ПТЕ-2017 для виконання ремонтів в цеху виділяється спеціальна група вогнетривників, яку заборонено використовувати на інших роботах.

За обсягом робіт, умовами та часом виконання ремонтів кладки печей поділяють на:

- А) профілактичні та поточні;
- Б) середні;
- В) капітальні.

До профілактичних та поточних ремонтів відносяться:

- заділування пустих швів, раковин, прогарів;
- ущільнення зазорів в місцях примикання устаткування до кладки;
- перекладання розшатованої закладної арматури;
- заміна регулювальних засобів;
- пробивання забитих косих ходів та пальників;
- заміна подових цеглин у голівок;
- ремонт футерування дверей та стояків.

Головні методи гарячого ремонту кладки печей у відповідності з п. 10.305 ПТЕ-2017:

- мокре торкретування (торкретмасами на фосфатній зв'язці);
- напівсухе торкретування жаротривкими бетонами;
- керамічне наплавлення та зварювання;
- застосування саморозігрівних матеріалів.

Технологія торкретування регламентована п. 10.306 ПТЕ-2017. До нанесення торкретмаси ремонтване місце має бути очищене та знеграфічене.

Торкретмаса наноситься шаром товщиною не більше 5-6 мм. Після нанесення торкретмаси здійснюється загладжування її сталевим шпателем. Кожен новий шар має наноситись лише після нагріву попереднього шару до червоного кольору. При заділуванні великих раковин торкретування суміщується з підмазуванням вручну. За торкретування не можна припускати охолодження кладки нижче 700 °С.

Профілактичні підмазування та торкретування дефектів кладки коксових камер мають проводитись під час обробки печей до та після видачі коксу, коли двері камери відкриті. За поточного ремонту печі встановлення двері може бути затримана за вимогою мулярів-вогнетривників не більш ніж на 10 хв. Ремонти, що потребують більших витрат часу, виконуються за окремим графіком. При цьому допускається попередня підготовка печі до ремонту за 10 хв до часу видачі за графіком або вивід печі із серії.

Періодичність планових поточних ремонтів (за винятком екстрених випадків), що визначає мінімальний термін експлуатації кладки після ремонту, визначена п. 10.307 ПТЕ-2017.

До середніх ремонтів відносяться часткове перекладання голівок стін регенераторів, опалювальних простінків та заміна оплавленої насадки. Середні ремонти здійснюють на гарячій кладці, але за частково відключеного обігріву та короткочасному (на кілька годин) припиненні видачі та/або завантаженні ремонтіваних печей. Ремонт на машинному та коксовому боках камери виконують в різний час. Не можна одночасно проводити ремонт на суміжних печах.

Капітальний ремонт полягає в частковій перекладці групи печей в холодному стані. Його виконують, коли стан кладки печей не дозволяє їх нормально експлуатувати – необхідно знижувати величину разового завантаження на 20-30 % та більше, знижувати температури, збільшувати період коксування та виводити піч з серії.

Капітальний ремонт виконують за наступних дефектів кладки:

А) порушення профілю пічних камер, наявність значних опуклостей, увігнутостей, місцевих змін ширини камери на різних рівнях (на 60-70 мм та більше), за зворотної конусності;

Б) відрив голівок простінків від масиву кладки;

В) утворення на стінках камер суцільних тріщин шириною 15-20 мм та більше;

Г) наявність великої кількості забитих косих ходів, газопідвідних каналів, непрацюючих вертикалів;

Д) ошлакування та прогари на поду і стінах камер площею 0,1 м² та більше;

Е) значні оплавлення насадки регенераторів;

- Є) значне оплавлення насадки регенераторів;
- Ж) велика деформація анкерних колон та болтів.

Холодне групове часткове перекладання печей виконується з поступовим охолодженням та нагрівом, що вимагає повного або часткового припинення експлуатації камер, суміжних з ремонтною (буферні та напівбуферні печі).

Порядок проведення капітальних ремонтів визначений п. 10.309 ПТЕ-2017. Капітальний ремонт коксових батарей та устаткування виконується за графіком, затвердженим керівництвом коксохімічного підприємства. Підготовка до проведення капітальних ремонтів починається завчасно – за 12-18 місяців. Склад робіт капітального ремонту визначається технічним станом батареї незалежно від її віку. Основні види капітальних ремонтів:

- ремонт кладки печей з перекладанням простінків на різну глибину;
- ремонт та заміна армування;
- ремонт та заміна газовідвідної та газопідвідної арматури.

Капітальні ремонти кладки виконуються за технологічними інструкціями. Для приймання печей до експлуатації після капітального ремонту створюється комісія з представників підприємства, ремонтної та проектної організації. Комісія визначає:

- повноту та якість виконаних робіт;
- загальні втрати продукції;
- режим подальшої експлуатації відремонтованих печей та батареї в цілому.

По закінченні ремонту перед введенням до експлуатації кладка відремонтованих печей має бути висушена та розігріта, а печі виведені на заданий для батареї період коксування і введені в серійність завантаження-видачі за спеціальним графіком.

Контрольні запитання

1. Які види вогнетривких матеріалів використовуються в техніці?
2. Які види вогнетривких матеріалів використовуються в коксових печах?
3. Які види вогнетривких виробів використовуються в коксових печах?
4. Як здійснюється кладка коксових печей?
5. Для чого потрібна сушка коксових печей та як її виконують?
6. Як виконується розігрів коксових печей?
7. Як здійснюється пуск коксових печей?
8. В яких умовах працюють вогнетриви в коксових печах?
9. Які види ремонтів виконуються на коксових печах?
10. Як здійснюються гарячі ремонти коксових печей?
11. Які роботи виконуються під час середніх ремонтів коксових печей?
12. Як готуються та виконуються капітальні ремонти коксових печей?

Перелік джерел до 8 розділу

1. ПТЕ-2017 Правила технічної експлуатації коксохімічних підприємств. – Харків: ДП «Гипрококс», 2018. – 283 с.
2. Инструкция № 30-84 РС. Инструкция по сушке и разогреву коксовых печей. – Харьков: ВКХС, 1984. – 148 с.
3. Справочник коксохимика. – 3-е изд. Т. 2. Производство кокса // Гл. 3.2 Коськова Г. Э. Огнеупорные и теплоизоляционные материалы для кладки коксовых печей. Гл. 15. Стельмаченко С. Ю. Контроль состояния и ремонты кладки коксовых печей. Харьков: ИД ИНЖЭК, 2014. С. 107-141, 576- 597.
4. Справочник коксохимика. – 3-е изд. Т. 5. Коксохимическое производство. Проектирование, сооружение и ввод в эксплуатацию. Экологическая и промышленная безопасность / В. Т. Передерий, Ю. Г. Шаповал, Б. М. Юдинцев. Ввод в эксплуатацию объектов коксохимического производства // – Харьков: ФЛП Данилко Н. С., 2016. – С. 311-342.
5. Кальянов К. Г. Ремонт огнеупорной кладки и анкеража коксовых печей / К. Г. Кальянов. – Москва : Metallurgia, 1980. – 96 с.
6. Лгалов К. И. Ремонт кладки и армирующего оборудования коксовой батареи / К. И. Лгалов, С. И. Кафтан, Г. М. Вольфовский. – Москва : Metallurgia, 1966. – 328 с.
7. Кайнарский И. С. Огнеупоры для коксовых печей / И. С. Кайнарский, Э. В. Дегтярева, И. Я. Шварцман, Г. М. Вольфовский – Москва : Metallurgia, 1966. – 250 с.

8. Лгалов К. И. Пуск коксовых печей / К. И. Лгалов, С. М. Халабузарь, С. И. Кафтан. – Харьков: Metallurgizdat, 1954. – 366 с.
9. Шульга И. В. Оценка расхода тепла на коксование после ремонта коксовых батарей / И. В. Шульга, А. А. Журавский, С. В. Федорова и др. // Углекимический журнал. 2017. № 5. С. 15-22.
10. Васильев Ю. С. Влияние состояния кладки на эксплуатацию и экологические характеристики коксовой батареи / Ю. С. Васильев, И. В. Шульга, А. Л. Фидчунов // Углекимический журнал. 2014. № 3. С. 14-21.
11. Худокормов А. П. Оценка эффективности проведения горячих ремонтов кладки отопительных простенков / А. П. Худокормов, П. В. Жилавый, И. В. Шульга, А. Л. Фидчунов // Углекимический журнал. 2013. № 5. С. 56-59.
12. Шульга И. В. О ремонте коксовой батареи № 2 / И. В. Шульга // Информационный дайджест ПАО «ЗАПОРОЖКОКС». 2015. № 1. С. 3.

9. НОВА ТЕХНІКА КОКСУВАННЯ

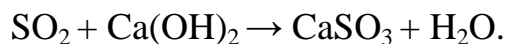
9.1 Печі без уловлювання хімічних продуктів коксування

Історія техніки знає чимало прикладів, коли ті чи інші рішення з часом відходили на другий план, але потім до них знов повертались з різних причин (зміни ресурсного забезпечення, вимог до якості отримуваних продуктів, екологічні проблеми), але вже на новому технічному рівні. Найсвіжіший приклад – розвиток в світі в останні десятиріччя технології отримання коксу без уловлювання хімічних продуктів (т.зв. «двохпродуктової» технології, головними отримуваними продуктами в якій є кокс та енергетичні ресурси).

Інтерес до цієї технології відроджується через недостатню конкурентоспроможність хімічної продукції коксохімічних підприємств, а також у зв'язку з безперервним зростанням вимог до охорони довкілля.

Сутність технології. До підсклепінневого простору камери коксування (рис. 9.1) надходить повітря, яке взаємодіє з поверхнею засипки (висотою 0,6-1,0 м, шириною 2,4-4,0 м) та запалює виділені парогазові продукти термічної деструкції, що відходять з підсклепінневого простору до бічних та подових опалювальних каналів. До цих каналів надходить вторинне повітря для допалювання парогазових продуктів. Обігрів засипки ведеться за рахунок утилізації частини ентальпії продуктів спалювання, температура яких на виході з опалювальної системи становить 1000-1100 °С. Подальше використання ентальпії продуктів спалювання здійснюється на енергетичній установці шляхом перетворення на теплову енергію пари та електроенергію.

Перед скиданням до атмосфери крізь димар продукти спалювання з температурою 180 °С надходять на очищення від сполук сірки за допомогою вапнового молока:



Завантаження камери здійснюється збоку крізь двері трамбованою або насипною шихтою. В останньому випадку використовують водоохолоджувані конвеєри. Тривалість операції завантаження при цьому складає 6-7 хв.

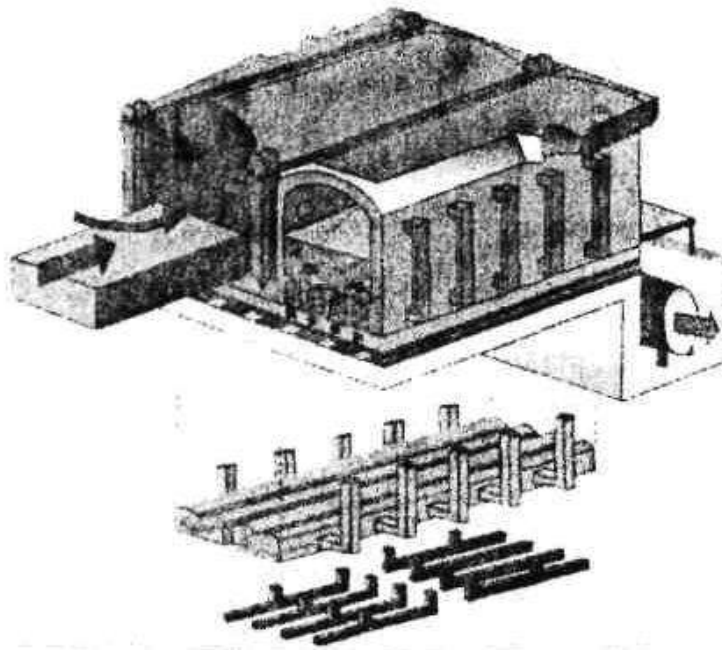


Рис. 9.1. Схема печей без уловлювання

Переваги технології:

- поліпшення техніко-економічних показників виробництва внаслідок зниження капітальних та експлуатаційних витрат і відмови від випуску неконкурентоспроможної продукції;

- підвищення якості коксу через подовження періоду коксування до 24-48 та навіть 72-96 годин;

- практично повне виключення шкідливих викидів до атмосфери через роботу печей під розрідженням.

Головні **недоліки** технології:

- через зменшені швидкості коксування шихта повинна мати достатню спікливість;

- безпосередній контакт коксівної засипки з повітрям призводить до помітного угару коксу в камері: за коксування насипних шихт ця величина складає 2,5-3,0 %; для трамбованих шихт – 0,8-1,0 %;

- низька корисна висота камери коксування (не більше 1,0 м та 0,6 м на більшості промислових установок) збільшує площу розміщення батареї. Навіть за розміщення двох батарей, що працюють на трамбованій шихті одна навпроти одної із загальними машинами для завантаження шихти та виштовхування коксу загальна площа установки (об'єкти вуглепідготовки, батарея, коксортировка, енергетична установка, ділянка газоочищення) на 60 % більша, ніж площа заводу тієї ж продуктивності для коксування насипної шихти в печах з уловлюванням хімічних продуктів. За продуктивності 1,3 млн т коксу на рік площа для розміщення всіх необхідних об'єктів становить 22 га

(для заводу з уловлюванням – 16 га). Ситуаційний план заводу з виробництва коксу без уловлювання хімічних продуктів наведений на рис. 9.2.

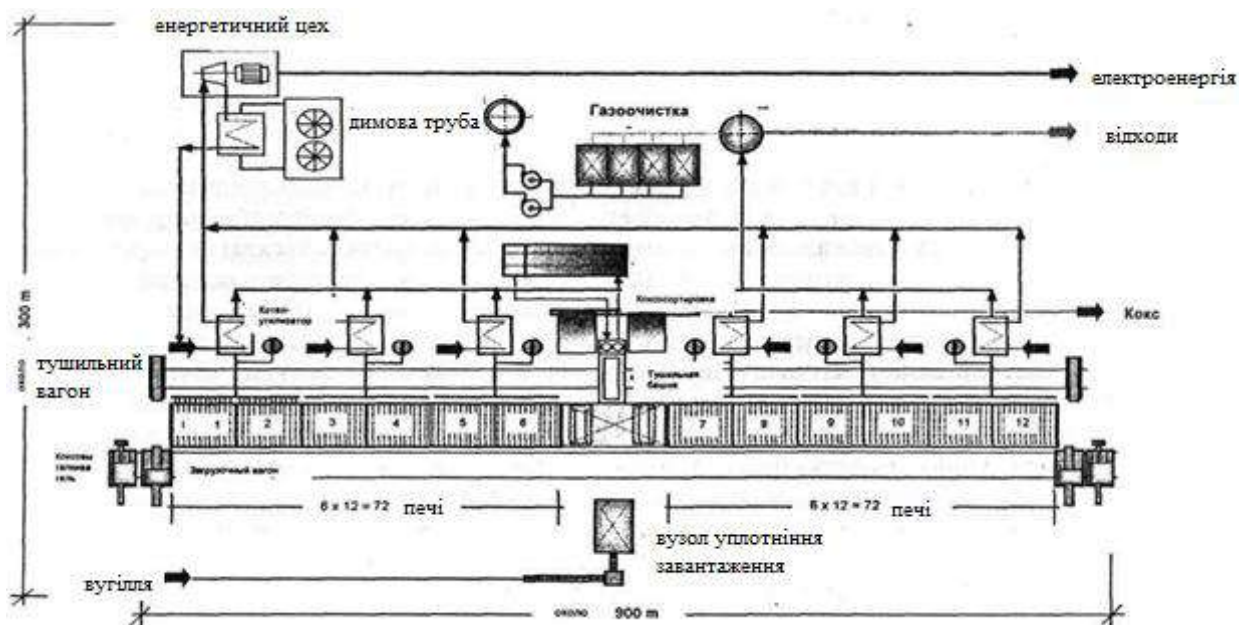


Рис. 9.2. Ситуаційний план заводу з виробництва коксу без уловлювання хімічних продуктів

Сировинна база коксування має, як зазначалось вище, забезпечувати достатню спікливість шихти. Товщина пластичного шару повинна бути не менше 15 мм за коксування трамбованої шихти та не менш ніж 16 мм для насипних шихт. Тому можливості розширення сировинної бази за використання цієї технології вельми обмежені.

Отримувані продукти за використання технології – кокс та енергетичні ресурси. Властивості коксу, як і практично для всіх технологій коксування, в першу чергу визначаються властивостями шихти. Тривале перебування в зоні високих температур (найпоширеніший період коксування 48 годин) сприяють впорядкованості структури отриманого коксу, його зміцненню, поліпшенню показників реакційної здатності (на 5-7 %) та післяреакційної міцності (на 8-10 %). Одночасно здійснюється надлишкове укрупнення коксу, тому необхідне подрібнення всього валового коксу (попередній відсів не є ефективним, оскільки вміст класу менше 80 мм не перевищує 20 %) в зубчастих або щоккових дробарках, що призводить до зниження виходу доменного коксу.

На енергетичній установці за утилізації надлишкового тепла продуктів спалювання, що утворюються при згорянні в підсклепінневу просторі камери та в опалювальній системі прямого коксового газу і частини засипки, отримують електроенергію та перегріту пару (тиск 2,0 МПа, температура

370 °С). Питомий вихід пари становить 0,3 т/т коксу, електроенергії 700 кВт×годин/т. На заводі, що випускає 1,3 млн т коксу на рік, внаслідок утилізації надлишкового тепла постійно працюють електрогенератори сумарною потужністю 100 МВт та виробляється 50 т пари на годину.

Вся вироблена продукція (кокс та енергетичні ресурси) є **ліквідною**.

Зіставний техніко-економічний аналіз двохпродуктової технології та коксування з уловлюванням хімічних продуктів свідчить, що за будівництва заводу без уловлювання величина капітальних витрат знижується в середньому на 20 % – спрощується конструкція батареї, знижується кількість типорозмірів (т.зв. «марок») вогнетривких виробів, не потрібно будівництво хімічних цехів, однак необхідні енергетична установка та ділянка очищення газу від діоксиду сірки.

Продуктивність праці в порівнянні з коксовими печами з уловлюванням хімічних продуктів зростає на 10 % внаслідок зменшення кількості працюючих та підвищення виходу коксу з однієї камери. Методом зіставлення **продуктивність праці** прогнозується на рівні 7,3 тис т коксу в рік на одного працюючого.

Технологія **відпрацьована** в промислових масштабах на низці підприємств США, Китаю, Індії, Австралії, Колумбії та інших країн. Провідні світові розробники в даному напрямку – фірми Sun Coke (США) та UNDE GmbH (німеччина) – є тримачами **технічної документації та патентів**, а також мають необхідне **кадрове забезпечення**.

ДП «ГИПРОКОКС» та ДП «УХІН» 2004-2006 р.р. за рахунок коштів бюджетного фінансування згідно із завданням Мінпромполітики України були виконані дослідження та дослідно-конструкторські проробки з технології коксування в печах без уловлювання. Розроблені вихідні дані на проектування дослідно-промислової коксової батареї без уловлювання хімічних продуктів виробничою потужністю 200 тис т/рік коксу валового 6 %-вої вологості.

9.2 Загальні недоліки періодичних процесів та необхідність розробки безперервних технологій коксування

Періодичному процесу коксування, в т.ч. і за реалізації двохпродуктової технології, притаманні генетичні недоліки, головними з яких є:

– жорсткі вимоги до властивостей сировини (шихта для отримання якісного коксу має складатися на основі добре спікливого вугілля марок Ж та К), що протирічить обмеженості та все більшому звужуванню ресурсних можливостей вугільної сировинної бази;

– велика кількість викидів шкідливих речовин у довкілля, перш за все при завантаженні печей та видачі коксу;

– низький ступень механізації та автоматизації виробничих процесів, важкі умови праці.

Це зумовлює необхідність розробки безперервних процесів виробництва коксу та устаткування для їх здійснення.

Безперервні процеси ґрунтуються на загальних принципах будь-яких безперервних хіміко-технологічних процесів: одночасна реалізація різних стадій технології в різних агрегатах (або частинах агрегатів) з послідовною передачею перероблюваного матеріалу з однієї стадії на іншу до отримання кінцевого продукту.

Головними перевагами безперервних процесів є:

1. Використання відносно менш дефіцитного та дешевшого вугілля.
2. Зменшення капітальних та експлуатаційних витрат на операції, пов'язані із завантаженням вугільної шихти та видачею коксу.
3. Більший ступінь механізації та можливість автоматичного регулювання технологічних процесів.
4. Стійкість технологічних режимів.
5. Стабільність якості продукції.
6. Скорочення шкідливих викидів у довкілля внаслідок практично повної ліквідації неорганізованих викидів.
7. Компактність розміщення устаткування.
8. Більший тепловий ККД внаслідок зниження тепловтрат та утилізації вторинного тепла.
9. Збільшення продуктивності праці.
10. Зменшення кількості виробничого персоналу, особливо зайнятого на роботах зі шкідливими та важкими умовами праці.
11. Збільшення продуктивності, полегшення умов та підвищення безпеки праці у вугільній промисловості.

9.3 Виробництво формованого коксу

Найбільш підготовленою до промислового впровадження безперервною технологією є процес виробництва формованого коксу, основні ідеї якого були вперше сформульовані в 30-х роках ХХ століття співробітником Дніпропетровського вуглехімічного інституту ДУХІН Л.М. Сапожниковим, що став згодом відомим перш за все як створювач пластометричного методу оцінки спіклівості вугілля та був обраний членом-кореспондентом Академії наук.

Починаючи з 50-х р.р. систематичні розробки цього процесу велись в ДП «УХІН» під керівництвом Ю.Б. Тютюннікова, Е.І. Торяника,

М.С. Шептовицького, Н.Р. Кушнірєвича, В.В. Гаврікова. Дослідно-промислові роботи проводили на спеціально спорудженій за проектом ДП «ГИПРОКОКС» установці цеху дослідного коксування Харківського дослідного КХЗ (нині – ТОВ «НОВОМЕТ»). Продуктивність установки за вихідним вугіллям становила в різні періоди 5-10 т/годину.

Основними стадіями процесу є:

– швидкісний нагрів підготовленої (75-77 % класу менше 3 мм) шихти в чотириступеневій системі трубопроводів та циклонів з паралельно-протитоковою організацією руху потоків вугілля та теплоносія (продуктів спалювання коксового газу) протягом 1-3 с до 440-460 °С;

– ізотермічне витримування, ущільнення нагрітого вугілля та розділення отриманого вугільного брусу на окремі куски заданої форми та розмірів (пластичні вугільні формовки) в пресформовочній машині;

– спікання та прожарювання вугільних формовок до 950-1000 °С у вертикальних коксових печах безперервної дії системи ПГР (парні горизонтали з рециркуляцією продуктів спалювання);

– сухе гасіння отриманого формованого коксу на установці, розташованій в нижній частині печей прожарювання;

– уловлювання хімічних продуктів коксування та переробку коксового газу;

– очищення надлишкового теплоносія системи швидкісного нагріву.

Технологічна схема виробництва формованого коксу подана на рис. 9.3.

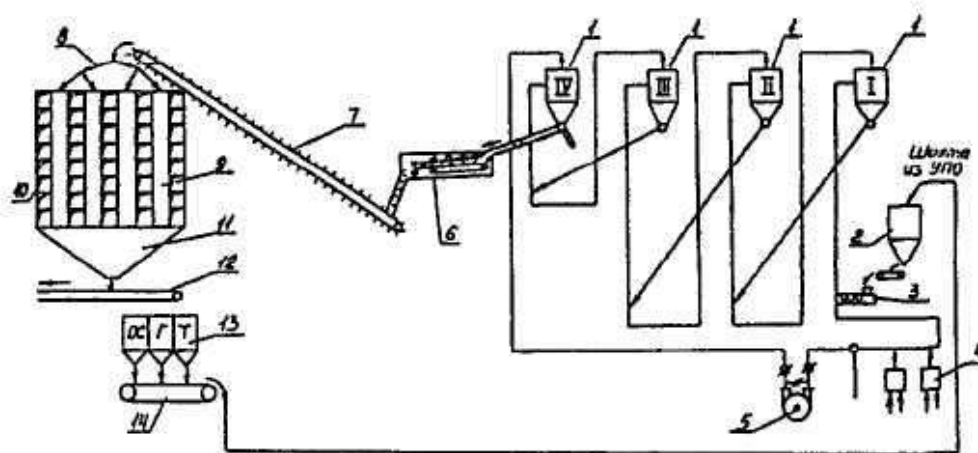


Рис. 9.3. Технологічна схема виробництва формованого коксу:

1 – ступені нагріву; 2 – бункер шихти; 3 – шнек-закидувач; 4 – пальники для отримання теплоносія; 5 – нагнітач; 6 – пресформовочна машина; 7 – пластинчастий конвеєр; 8 – вузол завантажування; 9 – вертикальні коксові камери; 10 – опалювальні простінки з горизонтальними каналами; 11 – зона сухого гасіння; 12 – конвеєр валового коксу на сортування; 13 – бункера вугілля; 14 – збірний конвеєр

Виробництво формованого коксу – єдина технологія, що дозволяє отримувати доменний кокс з шихти, в якій повністю відсутнє добре спікливе вугілля марок Ж та К. Спікливою основою шихти в цьому випадку є газове та навіть довогополум'яне вугілля. Технологічні особливості процесу (в першу чергу ущільнення вугілля за температур переходу до пластичного стану) ускладнює евакуацію парогазових продуктів з пластичних вугільних формовок, що, у відповідності з відомим принципом Ле Шательє, призводить до збільшення кількості рідкорухливих продуктів та забезпечує достатню інтенсивність процесів спікання. Вугільна шихта для отримання формованого коксу має містити 60-70 % газового та довогополум'яного вугілля, до 20 % піснуватого спікливого вугілля та 15-40 % пісного вугілля.

У відповідності з рішенням про будівництво головної установки в Україні була розроблена сировинна база на основі українського вугілля. Як спікливу основу шихти застосовували концентрат довогополум'яного та газового вугілля Західного Донбасу (Павлоградська ЦЗФ), а також високометаморфоване вугілля Центрального Донбасу. Характеристика вугілля та шихт для виробництва формованого коксу наведена в табл. 9.1.

Таблиця 9.1 – Характеристика вугілля та шихт для виробництва формованого коксу

Вугілля, шихта	Технічний аналіз, %			Пласто- метричні показни- ки, мм		Спік лива здат ність за Рога, од.	Ділатометрія за ПІ-ДМетІ			Динаміка в'язкості за Н.Р. Кушніревичем		
	A^d	S_t^d	V^d	X	Y		И _в , мм	П _в , с	П _н , с	T _{нр} °С	ΔT, °С	ΔF, кПа
Д+Г	7,0	1,60	36,5	67	8	19	9	54	255	427	63	84,6
ПС	7,4	1,60	17,1	15	7	27	29	265	201	478	72	87,7
П	6,9	1,91	10,0	16	0	0	2	319	78	-	-	-
Шихта 70 Д+Г, 15 ПС, 15 П	7,2	1,65	29,5	50	6	17	6	39	244	445	35	43,1

Швидкісний нагрів вугільної шихти було передбачено здійснювати в рухомому потоці суміші вугілля з газоподібним теплоносієм (продуктами спалювання коксового газу). При цьому одночасно відбувається кілька взаємопов'язаних фізичних та хімічних процесів – тепло- та масопереніс,

механічне і термічне подрібнення вугільних зерен, термічна деструкція органічної маси вугілля, хімічна взаємодія утворених продуктів між собою та з компонентами газу-теплоносія тощо.

Подача шихти до системи швидкісного нагріву здійснюється шнеком-закидувачем (поз. 3 на рис. 9.3). Шнек має підпірний пристрій, що виключає надходження назовні теплоносія за його надлишкового тиску в системі нагріву до 9 кПа. Герметизація вузлу вводу забезпечується шляхом стиснення шару вугілля між шнеком та підпірним пристроєм до надлишкового тиску 10-11 кПа. Для зменшення зносу шнек виконаний двохопорним.

Спалювання коксового газу для отримання теплоносія здійснюється в спеціальній печі (поз. 4 на рис. 9.3). Ця піч складається з двох камер – згоряння та змішування. В нижній частині першої з них встановлений пальник, в якому змішуються газ та повітря, підведені під тиском в регульованому співвідношенні. Вміст кисню в циркулюючому теплоносії має бути мінімальним (не більше 1 %), за більшої концентрації кисню відбуваються небажані процеси окиснення органічної маси вугілля, що призводить до зниження якості отриманого коксу. Крім того, виникає вибухова небезпека. Тому спалювання газу ведуть з мінімальним коефіцієнтом надлишку повітря (не більше 1,05). Пальник має запально-захисний пристрій для дистанційного управління та автоматичного контролю факелу. Температура утвореного в камері свіжого теплоносія – 1600 °С. В камері змішування його розводять циркулюючим теплоносієм до отримання температури 600 °С.

Нагрів вугілля здійснюється за його руху разом з газом-теплоносієм у висхідному потоці газопроводами чотирьох ступенів нагріву. Після кожного ступеня встановлені циклони, в яких вугілля відділяється від теплоносія, а після цього вони передаються до наступних за їх рухом ступенів нагріву. Організація руху потоків – паралельно-протитокова. Вугілля проходить послідовно I, II, III та IV ступені нагріву, а теплоносій – IV, III, II та I ступені. Припустимі швидкості руху теплоносія:

- на вході до кожного ступеня нагріву – 18-22 м/с;
- на вході до циклонів – не менш ніж 16 м/с;
- на ділянці «циклон–нагнітач–піч для отримання теплоносія» - 25-32 м/с;
- на решті ділянок – 15-25 м/с.

Через безперервне надходження до системи швидкісного нагріву свіжого теплоносія та виділення з вугілля водяної пари та парогазових продуктів початкових стадій термічної деструкції об'єм циркулюючого теплоносія поступово збільшується. Надлишковий теплоносій відводиться на очищення до санітарних норм, аналогічно тому, як описано в § 8.3, після чого скидається до атмосфери.

Раціональні технологічні параметри швидкісного нагріву шихти на основі вугілля Західного Донбасу наведені в табл. 9.2.

Таблиця 9.2 – Раціональні технологічні параметри швидкісного нагріву шихти

Показник	Одиниця виміру	Числове значення
Початкова концентрація вугілля в першому ступені	кг/м ³	0,58-0,65
Температура теплоносія:	°С	
Перед IV ступенем		575-608
Перед III ступенем		466-480
Перед II ступенем		349-359
Після II ступеня		214-223
Після I ступеня		95-105
Температура вугілля	°С	
Після IV ступеня		456-463
Після III ступеня		335-342
Після II ступеня		208-212
Після I ступеня		75-90
Тиск:	Па	
На вході до циклону IV ступеня		820-880
На виході з циклону IV ступеня		740-800
Внизу циклону IV ступеня		800-840
Внизу циклону I ступеня		100-200
Розрідження перед нагнітачем		-(390-440)
Тиск після нагнітача		1050-1100

Властивості нагрітої шихти на основі вугілля Західного Донбасу за різних кінцевих температур швидкісного нагріву подані в табл. 9.3.

Таблиця 9.3 – Властивості нагрітої шихти

$t, ^\circ\text{C}$	450	452	454	456	458	460	462	464	466	468	470
$A^d, \%$	6,7	6,7	6,7	6,7	6,8	6,8	6,8	6,8	6,9	7,0	7,1
$V^{daf}, \%$	31,1	30,9	30,7	30,4	30,1	29,9	29,6	29,4	29,0	28,1	26,6
$I_B, \text{мм}$	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	2
RI	17	17	16	16	16	16	15	15	15	15	14

Нагріте до температури початку переходу до пластичного стану вугілля надходить до пресформовочної машини. Через те, що швидкісний нагрів відбувається за короткий час (кілька секунд), необхідне попереднє витримування нагрітого вугілля в машині, щоб він встиг перейти до пластичного стану.

Потім вугільну пластичну масу піддають впливу зовнішнього тиску, а отримуваний при цьому ущільнений вугільний брус розділяють на окремі куски заданої форми та розмірів – пластичні вугільні формовки. Температуру готовності нагрітого вугілля до формування визначають кількома способами:

1. Для петрографічно однорідного вугілля – за часом 6-10 с до початку спучування нагрітого вугілля під тиском 0,5 МПа в штемпельному пресі.

2. Для шихт на основі газового вугілля Західного Донбасу, спікливий компонент яких містить значні (до 20 % та більше) кількості інертиніту, що знижує гомогенність пластичної маси, запропоновано температуру готовності до формування визначати на рівні, вище якого починається спучування нагрітої шихти в штемпельному пресі.

3. За використання в складі шихти ловгополум'яного та пісного вугілля гомогенність вугільної пластичної маси знижується настільки, що вона повністю втрачає здатність спучуватись. Тому температуру готовності до формування визначали за припиненням на деякий час зростання температури у вільному завантаженні в обертовій електричній печі спеціального лабораторного стенду (т.зв. «температурна полиця»).

4. Насипна густина нагрітої шихти, відібраної безпосередньо з системи швидкісного нагріву, за досягнення температури термічної готовності різко знижується – на 0,05-0,07 г/см³ за збільшення температури на 1-2 °С.

За розробки процесу було випробувано кілька типів пресформовочних машин:

- шнекова;
- кільцева;
- гусенична.

Схема шнекової машини конструкції ДП «ГИПРОКОКС» показана на рис. 9.4.

Її переваги:

- добре перемішування та усереднення завантаження перед формуванням;
- інтенсивний теплообмін та вирівнювання температур у вугільній масі;
- компактність;
- простота конструкції;
- низька металоємність;
- малі теплові втрати.

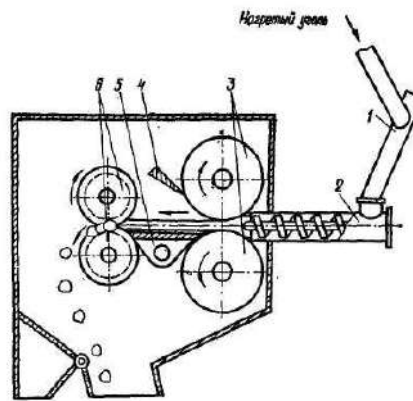


Рис. 9.4. Шнекова пресформовочна машина:

1 – завантажувальний пристрій; 2 – шнек; 3 – ущільнюючі валки; 4 – ніж;
5 – справовуючий столик; 6 – формуючі валки

Недоліками цієї конструкції є:

- підвищена витрата енергії;
- низька експлуатаційна маневреність;
- сильний вплив масштабного фактору, що ускладнює моделювання процесу.

В Слов'янському КБ «Коксохіммаш» удосконалювали пресформовочну машину кільцевого типу (рис. 9.5). ДП «УХІН» запропонована конструкція барабанної машини, наведена на рис. 9.6.

Найбільший обсяг досліджень був виконаний на гусеневій пресформовочній машині конструкції ДП «ГИПРОКОКС» (рис. 9.7).

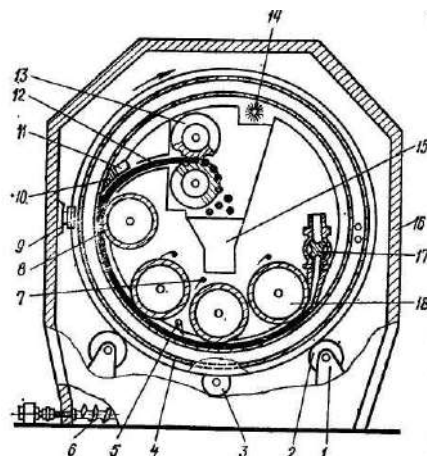


Рис. 9.5. Пресформовочна машина кільцевого типу:

1 – опора; 2 – підшипник; 3 – шестерня; 4 – зубчасте колесо; 5 – датчик рівня;
6 – шнек; 7 – ніж; 8 – ущільнюючий валок; 9 – регулювальний болт; 10 – напрямна;
11 – рівнемір; 12 – вугільний брус; 13 – формуючі валки; 14 – пристрій очищення;
15 – розвантажувальний пристрій; 16 – корпус; 17 – дозатор; 18 – пресувальні валки

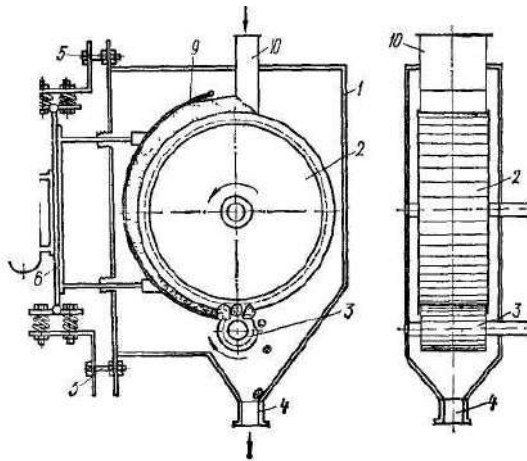


Рис. 9.6. Барабанна пресформовочна машина:
 1 – корпус; 2 – барабан; 3 – формуючий валок; 4 – розвантажувальний пристрій;
 5 – болти; 6 – рама; 7 – привід; 8 – редуктор; 9 – вугільний брус;
 10 – завантажувальний пристрій

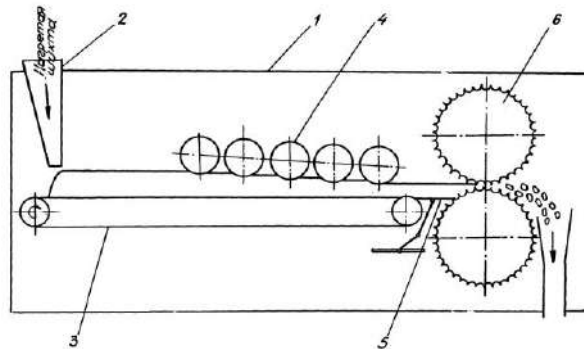


Рис. 9.7. Схема гусеневої пресформовочної машини:
 1 – корпус; 2 – завантажувальний жолоб; 3 – гусениця; 4 – пресуючі валки;
 5 – напрямний столик; 6 – формуючі валки

Саме використання гусеневої машини було передбачене на головній промисловій установці Баглійського КХЗ (нині – ПрАТ «ЮЖКОКС»). Головними перевагами гусеневої машини є:

- незалежні приводи гусені, формуючих валків та напрямного столика;
- висока маневреність;
- менша енергоємність;
- можливість переробки матеріалу з різними властивостями.

Головною особливістю конструкції стала підвищена чутливість до коливань продуктивності, складу та властивостей нагрітого вугілля. Через це були проведені спеціальні дослідження з розробки раціональних технологічних параметрів формування.

Виконані роботи засвідчили, що процес формування в гусеничній машині відбувається в нестационарному режимі – з безперервною зміною густини

нагрітого вугілля внаслідок його ущільнення під впливом зовнішнього тиску та спучування внаслідок термохімічних перетворень з виділенням парогазових продуктів. Рациональні технологічні параметри формування шихт на основі вугілля Західного Донбасу розробляли для двох варіантів складу шихти:

1) 70 % Д+Г; 15 % ПС; 15 % П (пусковий варіант для головної промислової установки);

2) 75 % Д+Г; 25 % П (перспективна шихта).

Результати досліджень наведені в табл. 9.4.

Таблиця 9.4 – Рациональні технологічні параметри формування шихт на основі вугілля Західного Донбасу

Показники	Одиниці виміру	Числові значення	
		Варіант 1	Варіант 2
Продуктивність за нагретим вугіллям	т/ч	50	50
Насипна густина нагрітої шихти	т/м ³	0,41	0,45
Швидкість руху гусені	м/с	0,243	0,213
Довжина зони ізотермічного витримання	м	7,2	6,5
Тривалість ізотермічного витримання	с	30,8	30,6
Довжина зони ущільнення	м	2,1	2,8
Тривалість ущільнення	с	9,0	13,2
Кількість пресуючих валків	-	4	5
Висота встановлення пресуючих валків над гусінню (за ходом вугілля):	м		
1-й валок		-	0,170
2-й валок		0,170	0,155
3-й валок		0,135	0,140
4-й валок		0,115	0,125
5-й валок		0,100	0,100
Окружна швидкість формуючих валков	м/с	0,77	0,70
Час перебування шихти в чарунках формуючих валків	с	0,40	0,44

Нагріта шихта другого варіанту мала більшу насипну густину, що при заданих продуктивності та товщині шару вугілля на гусені зумовлювало меншу швидкість її руху.

Тому в першому варіанті треба було збільшити довжину зони ізотермічного витримання та для досягнення потрібних часу витримання

(не менш ніж 30 с) та глибини здійснення реакцій термічної деструкції. Це здійснюється за рахунок зменшення довжини зони ущільнення шляхом виведення з роботи першого за рухом вугілля пресуючого валку.

Ущільнення при цьому здійснюється другим – п'ятим валками. В свою чергу, це призводить до зниження тривалості ущільнення для шихти першого варіанту.

Більша насипна густина нагрітої шихти другого варіанту та менша об'ємна продуктивність машини в цьому випадку дозволяють за переробки такої шихти дещо знизити швидкість формуючих валків та збільшити час перебування матеріалу в чарунках валків.

Наведені технологічні параметри формування були експериментально перевірені на установці Харківського КХЗ за умов короткострокового досліду при роботі пресформовочної машини на форсованій продуктивності. За їх дотримання вихід цілих формовок становив 88-90 % від нагрітого вугілля. Властивості отриманих формовок наведені в табл. 9.5.

Таблиця 9.5 – Властивості пластичних вугільних формовок

Показник	Одиниця виміру	Числові значення
Діаметр	мм	50-60
Висота	мм	40-50
Уявна густина	г/см ³	0,9-1,0
Дійсна густина	г/см ³	1,27-1,47
Пористість	%	41-47
Зольність сухої маси	%	7,2-7,6
Вихід летких речовин з горючої маси	%	22,0-24,0
Міцність на стиснення	МПа	0,5-0,7
Міцність на зріз	МПа	0,4-0,6

Спікання, коксування та прожарювання вугільних пластичних формовок здійснюються у вертикальних коксових печах безперервної дії конструкції ДП «ГИПРОКОКС», схема яких подана на рис. 9.8. Блок печей складається з п'яти опалювальних простінків, між якими розміщені чотири вертикальні камери коксування 1, кожна з яких має висоту опалюваної частини 10 м, її ширину 400 мм та довжину 4,0 м. Блок печей має загальний завантажувальний пристрій, що за допомогою системи розсікачів забезпечує рівномірний розподіл пластичних вугільних формовок з температурою 420-430 °С за усіма камерами коксування. Кожен опалювальний простінок 2 розділений по висоті на 22 горизонтальних опалювальних канали 3.

Шість нижніх регенераторів 4 з'єднані за допомогою косих ходів 5 з десятьма нижніми горизонтальними каналами, а шість верхніх регенераторів 6 обслуговує 12 верхніх горизонталів. Кожна пара горизонтальних каналів є самостійним елементом опалювальної системи. В перекриваючих рядах кладки, розташованих між двома горизонталами поєднаної пари, наявні по 3 отвори із встановленими над ними реєстрами 7 для регулювання довжини факелу горіння. Розподіл нагрітого повітря за окремими горизонталами регулюється за допомогою спеціальних клиновидних шиберів 8, встановлених в гирлах косих ходів. Коксовий газ надходить до кожного горизонталу крізь спеціальні дюзові цеглини 9, розташовані у фасадній частині кладки опалювального простінку.

Горіння опалювального газу відбувається лише в одному горизонталі кожної з поєднаних пар (парному або непарному). Отримані продукти спалювання надходять до поєднаних горизонталів кожної пари (непарні або парні). Через 30 хв відбувається кантування, та напрямки руху потоків газу, повітря та продуктів спалювання змінюються на протилежні.

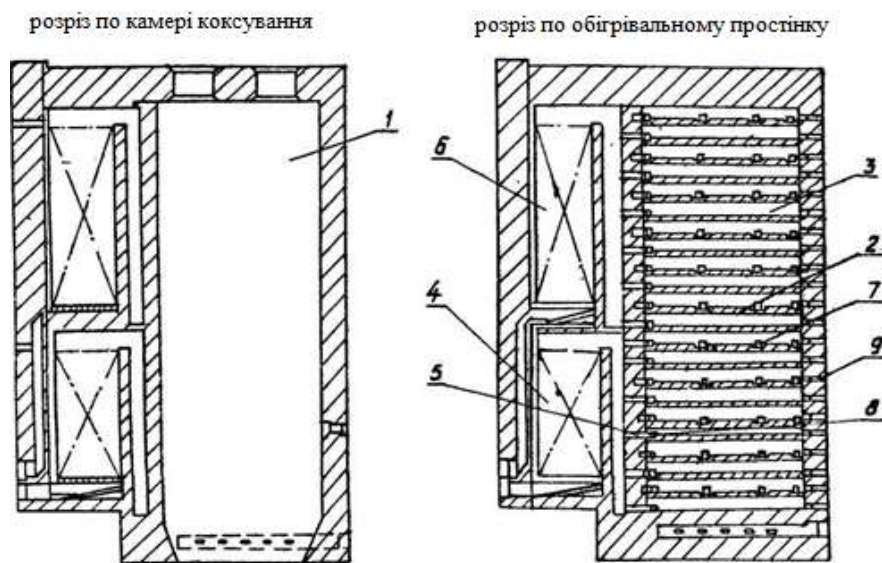


Рис. 9.8. Вертикальні печі безперервної дії для коксування пластичних вугільних формовок конструкції ДП «ГИПРОКОКС»

Необхідність використання горизонтальних опалювальних каналів, а не вертикальних, як за шарового коксування в печах періодичної дії, та розташування регенераторів в два ряди (один над одним) викликано значно більшою висотою вертикальної камери (10 м) у порівнянні з найвищими горизонтальними печами конструкції ДП «ГИПРОКОКС» (7 м) та необхідністю підтримання різних швидкостей руху формовок по мірі їх просування згори донизу на різних стадіях процесу. Нумерація горизонталів – знизу догори.

Умовно прийнято вважати, що різним стадіям процесу відповідають наступні зони печі:

- спікання – навпроти 22-17 горизонталів;
- коксоутворювання – 16-9 горизонтали;
- прожарювання – 8-1 горизонтали.

Загальний час перебування формовок в цих зонах – 6 годин, кінцева температура коксування – 900-950 °С. Парогазові продукти коксування з температурою 750-800 °С крізь спеціальні газовідвідні патрубки відводяться до газозбірника, де зрошуються циркулюючою аміачною водою, а потім відводяться на обробку до хімічних цехів.

В нижній частині пічного блоку розташована загальна для всіх камер неопалювана зона. Тут відбувається витримування та сухе гасіння формованого коксу. Циркулюючий газ з контуру сухого гасіння з температурою 650-750 °С відводиться на охолодження, а потім з температурою 130-150 °С за допомогою вентилятору спрямовується до розвантажувального пристрою, що дозволяє мінімізувати викиди шкідливих речовин за вивантаження коксу. Температура коксу на виході з розвантажувального пристрою складає 200-250 °С, його вологість є рівномірно низькою.

Як бачимо, конструкція печей має зовнішнє опалювання. Основним недоліком такого рішення є невелика інтенсивність теплопередачі. Для її підвищення та одночасного збереження достатньо високої якості газу і хімічних продуктів коксування ДП «ГИПРОКОКС» та ДП «УХІН» запропонована конструкція печей із зовнішнім опаленням. В цих печах частина тепла для здійснення процесу коксування підводиться ззовні, а решта – зсередини, причому для внутрішнього опалення застосовують циркулюючі парогазові продукти, отримані за термообробки самих формовок. Ці продукти з температурою 650-700 °С з середньої частини камери інжектуються парою або коксовим газом до верхньої частини, де нагрівають пластичні вугільні формовки. Таке рішення дозволяє знизити витрату тепла на коксування, а внаслідок інтенсифікації теплопередачі скоротити тривалість процесу та підвищити продуктивність печі до 35-40 т коксу на годину.

Характеристика температурного режиму коксування та якості формованого коксу, отриманого за дослідно-промислових умов, наведена в табл. 9.6.

Всього було отримано більше 20 тис т формованого коксу, випробуваного під час трьох доменних плавок, перша з яких відбулась 1972 р. на доменній печі № 6 Дніпровського металургійного заводу.

Там же 1984 р. відбулась друга доменна плавка. Третя плавка була проведена 1986 р. В доменних плавках поетапно замінювали формованим коксом від 12,5 % до 100 % шарового коксу в доменній шихті.

Встановлено, що використання формованого коксу дозволяє підвищити продуктивність доменної печі на 1,7-2,5 % та знизити питому витрату коксу на 4,0-5,0 %. Хід доменної печі при цьому був рівним, горіння фурм не було.

Таблиця 9.6 – Температурний режим коксування та якість формованого коксу

Склад шихти, %	Температура, °С				Ситовий склад, %			Міцність, %		Теханаліз, %		
	горизонталі			Підклепінневий простір	60-40	40-25	-25	M ₂₅	M ₁₀	A ^d	V ^{daf}	S ^d _t
	1-8	9-16	17-22									
70 Д+Г, 15 ПС, 15 П	1116	980	900	365	87,7	9,3	3,0	87,2	8,8	9,9	0,9	1,2
60 Д+Г, 20 ПС, 20 П	1120	995	910	380	77,8	18,1	4,1	87,7	9,2	9,5	0,9	1,2

Успішні результати дослідно-промислових робіт з виробництва та використання формованого коксу дозволили ДП «УХІН» розробити вихідні дані, а ДП «ГИПРОКОКС» виконати робочий проект головної дослідно-промислової установки з виробництва формованого металургійного коксу, продуктивність якої мала скласти 2,0 млн т коксу на рік. 1982 р. було розпочато будівництво першого пускового комплексу виробничою потужністю 500 тис т коксу на рік. Однак 1987 р. через наростання негативних тенденцій в економіці будівництво було припинене за рівня готовності 37 %. Незважаючи на це, процес продовжує залишатися актуальним, оскільки дозволяє за рахунок заміни періодичної технології на безперервну одночасно вирішити дві найголовніші проблеми сучасної коксохімії:

- радикально розширити сировинну базу коксування;
- поліпшити екологічні показники виробництва.

9.4 Безперервне шарове коксування

Сутність методу полягає в перервно-поступальному переміщуванні за допомогою прес-проштовхувача вугільного завантаження вздовж нагрітих стін вертикальної або горизонтальної камери коксування та нагріві переміщуваної коксівної маси до 1000-1100 °С без доступу повітря з отриманням кускового коксу.

На підставі отриманих в ДП «УХІН» теоретичних та експериментальних досліджень розроблені основні технологічні принципи нового процесу, покладені в основу технології безперервного шарового коксування (БШК). Вони полягають в наступному:

1. Процес коксування має бути стадійним з можливістю незалежного керування температурним режимом кожної стадії.

2. Стадії переходу вугілля до пластичного стану, існування та твердіння пластичної маси повинні здійснюватись за умов тісного контакту вугільних зерен.

3. Переміщування коксівної маси в камері має здійснюватись перервно-поступально, а часовий інтервал між переміщуваннями повинен забезпечувати при заданій температурі в зоні нагріву перехід пристінкового вугільного шару з сипкої маси до жорсткої структури напівкоксу-коксу з температурою не нижче 600-650 °С; при цьому температура пристінкового шару вугілля в зоні завантаження (перед зоною нагріву) не має перевищувати температури передпластичного стану (300-350 °С).

4. Температурний режим коксування на стадії переходу напівкоксу в кокс має забезпечувати розділення коксового пирога на окремі куски потрібної крупності.

5. Апаратурне оформлення процесу повинне забезпечувати керованість кожною стадією термохімічних перетворень в одному герметичному автоматично керованому апараті.

На підставі цих принципів була розроблена та споруджена крупно-лабораторна установка БШК з вертикальною пічною камерою продуктивністю 50-70 кг коксу на добу. Дослідження на цій установці показали принципову можливість здійснення процесу, дозволили вивчити вплив різних технологічних факторів на зусилля переміщування, а також на процеси спікання, коксоутворення та якість отриманого коксу.

Потім на Харківському КХЗ була збудована та введена до експлуатації дослідна промислова установка безперервного шарового коксування (УБШК) з вертикальною камерою, продуктивністю за коксом до 2 т/добу (рис. 9.9).

Основні розміри камери коксування, мм:

- висота загальна – 4410;
- висота опалюваної частини – 2760;
- довжина – 1000-1200;

- ширина середня – 175 (згодом – 350);
- конусність – 10.

Вугільна шихта (рис. 9.9) конвеєром 1 подається до бункеру 2, звідки дозатором 3 порціями по 40-50 кг подається за піднятого прес-проштовхувача до металевій неопалюваній завантажувальній секції 5 камери коксування 7. Завантажувальна секція 5 в нижній її частині має змієвик 11 для циркуляції охолоджувальної рідини (води) з метою підтримання температури всередині секції (на межі з зоною теплового удару) не вище ніж 300-350 °С.

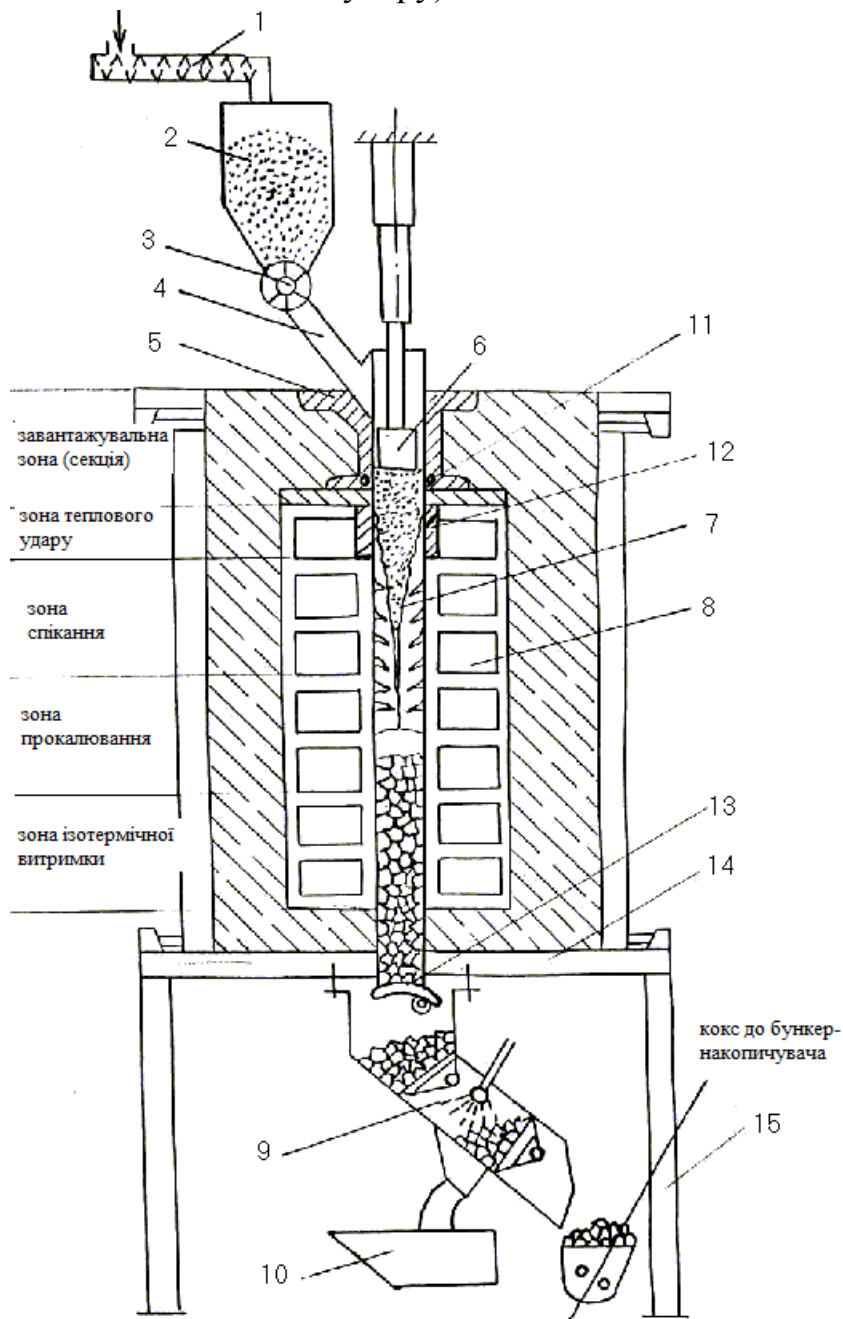


Рис. 9.9. Технологічна схема УБШК:

1 – шнек; 2 – завантажувальний бункер; 3 – дозатор; 4 – жолоб; 5 – завантажувальна секція (горловина); 6 – прес-проштовхувач; 7 – камера коксування; 8 – опалювальний горизонтал; 9 – камера гасіння; 10 – коксоприймальна вагонетка; 11 – змієвик; 12 – металева стінка; 13 – затвор коксу; 14 – залізобетонна плита; 15 – колона

Після цього свіжозавантажена шихта проштовхується на заданий крок прес-проштовхувачем 6 до зони теплового удару 12, виконану з жароміцної сталі. За переміщення до зони теплового удару відбувається ущільнення шихти до $0,95-1,05 \text{ т/м}^3$, що сприяє інтенсифікації термохімічних процесів деструкції та спікання. Періодичність проштовхування 30 ± 10 хв, що відповідає проміжку часу, протягом якого в зоні теплового удару пристінковий шар шихти перетворюється на тверду, міцну оболонку (шар) напівкоксу-коксу (для усунення адгезії вугільної пластичної маси до стінок камери).

Потім в технологічних зонах – спікання та прожарювання – коксівне завантаження перетворюється на готовий коксовий пиріг з температурою $1000-1100 \text{ }^\circ\text{C}$, нижня (голівочна) частина якого під дією сили тяжіння порціями відділяється від загального масиву (головним чином за переміщення). До зони ізотермічного витримування кокс надходить вже у вигляді кусків, що перемішуються за опускання. Це сприяє вирівнюванню властивостей коксу. В нижній частині зони ізотермічного витримування розташована система затворів 13, що забезпечує передачу коксу порціями до зони гасіння 9 та переміщення коксу у вищерозташованих зонах. В камері гасіння 9 кокс охолоджується водою та порцією вивантажується до вагонетки 10. Вся установка змонтована на залізобетонній плиті 14, що знаходиться на колонах 15.

Опалювана частина коксової печі (зони теплового удару, спікання, прожарювання та ізотермічного витримування) складається з горизонтальних опалювальних каналів 8, виконаних із щільного дінасового вогнетривкого матеріалу, з індивідуальним регулюванням температури, що дозволяє керувати процесом коксування на всіх його стадіях.

Відвід парогазових продуктів коксування здійснюється за допомогою газоходів, розташованих під кутом до торцьової частини кладки вертикальної печі, похилими стояками, з'єднаними із газозбірником (на рисунку не показані), в якому газ охолоджується до температури $80-82 \text{ }^\circ\text{C}$.

Кілька стояків на різних рівнях по висоті камери коксування дозволяють роздільно відводити газ різного ступеня піролізу.

Експериментальні дані, отримані на півпромисловій УБШК, підтвердили перспективність розроблюваного методу та доцільність переходу до печей промислового масштабу.

На підставі отриманих на УБШК результатів досліджень ДП «УХІН» виконаний проект дослідно-промислового модулю, що складається з двох камер коксування з промисловими розмірами. Будівництво модулю продуктивністю до 10 тис т коксу на рік здійснювалось на Харківському КХЗ в 1989-1993 роках та було припинене за ступеня готовності 90 % через

відсутність фінансування для завершення будівництва та пуско-налагоджувальних робіт.

Характерною особливістю нової технології є те, що вона дозволяє переробляти вугілля та складені з нього шихти різного складу та технологічних властивостей, а також не потребує спеціальної технології їх підготовки. Помел шихти може коливатись (в залежності від її складу та властивостей) від 65 до 80 % класу менше 3 мм. Характеристика типової шихти та її компонентів наведена в табл. 9.6.

Таблиця 9.6 – Характеристика типової шихти та її компонентів

Марка	Вміст, %	Технічний аналіз, %				У, мм
		W^r	A^d	S^d	V^{daf}	
Г	70	8,0	6,1	1,1	38,0	10
Ж	15	8,0	7,6	2,2	32,0	23
ОС	15	8,0	8,9	0,4	15,0	3
-	100	8,0	6,8	1,2	33,6	11

Вихід парогазових продуктів коксування, % (мас.):

- коксовий газ – 15,6;
- смола – 3,5;
- сирий бензол – 1,1;
- аміак – 0,3;
- сірководень – 0,3;
- пірогенетична вода та втрати – 5,2;
- вихід коксового газу фактичної калорійності з сухої шихти, м³/т (0 °С, 101,3 кПа) – 332;
- густина газу, кг/м³ (0 °С, 101,3 кПа) – 0,47;
- теплота спалювання, МДж/м³ (н.у.) – 18,63;
- склад коксового газу, % (об.): Н₂ – 56,8; СН₄ – 27,6; С_mН_n – 2,3; СО – 7,5; СО₂ – 2,7; N₂ – 2,4; О₂ – 0,7.

Характеристика валового та товарного коксу наведена в табл. 9.6.

Таблиця 9.6 – Характеристика валового та товарного коксу

Кокс	Ситовий склад, %					Міцність, %		Теханаліз, %				Насипна густина на т/м ³	Вихід%
	+80	80-60	60-40	40-25	-25	M ₂₅	M ₁₀	W _t ^r	A ^d	S _t ^d	V ^{daf}		
Валовий	8	20	46	18	8	-	-	-	-	-	-	0,48	74,0
КД	3	18	53	23	3	89	6,5	4,0	9,7	0,90	1,0	0,47	92,0
КО	-	-	-	-	-	-	-	8,0	9,9	0,95	1,5	0,49	3,5
МК	-	-	-	-	-	-	-	15,0	11,0	1,00	2,7	0,51	4,5

Головними **перевагами** методу БШК є:

1. Управління процесом нагріву на різних стадіях коксування шляхом встановлення різних температурних зон за висотою камери, а також за допомогою швидкості переміщення коксівного завантаження.

2. Зміна в широких межах густини вугільного завантаження шляхом регулювання прошовхувальних зусиль.

3. Докорінне поліпшення умов праці виробничого персоналу та збільшення продуктивності праці шляхом створення системи комплексної механізації і автоматизації управління технологічними і виробничими процесами.

4. Значне зменшення шкідливих викидів до атмосфери.

5. В безперервному шаровому коксуванні можна перероблювати шихти зі зменшеною спікливістю (мінімально необхідна товщина пластичного шару 11 мм). Це дає можливість розширення сировинної бази коксування та поліпшення якості коксу внаслідок залучення до шихти менш спіклого вугілля, але з меншою сірчистістю та сприятливішим складом мінеральної частини.

Продуктивність праці становить 13,1 тис т на рік на одного працюючого – максимальна серед всіх технологій. В першу чергу це зумовлене безперервним характером технології, що створює найсприятливіші можливості для механізації та автоматизації.

Контрольні запитання

1. В чому полягає сутність двохпродуктової технології коксування?
2. В чому сутність переваг двохпродуктової технології коксування?
3. Які продукти отримують в двохпродуктій технології коксування?

4. Які стан та перспективи промислового використання двопродуктової технології в світі та Україні?
5. В чому полягають загальні недоліки періодичних процесів коксування?
6. В чому полягають переваги безперервних процесів коксування?
7. Які головні стадії процесу отримання формованого коксу?
8. Яка сировинна база процесу виробництва формованого коксу?
9. Як здійснюється швидкісний нагрів шихти в процесі виробництва формованого коксу?
10. Як визначають готовність нагрітої шихти до формування?
11. Які розроблені основні типи пресформовочних машин?
12. В чому полягають переваги та особливості гусеничної пресформовочної машини?
13. Якими мають бути технологічні параметри формування різних типів шихт?
14. В чому особливості конструкції вертикальних печей для прокалювання пластичних вугільних формовок?
15. Яким має бути раціональний температурний режим коксування пластичних вугільних формовок?
16. В чому полягає сутність технології безперервного шарового коксування?
17. Які головні принципи покладені в основу технології безперервного шарового коксування?
18. Як працює установка безперервного шарового коксування?
19. Яку шихту використовують в технології безперервного шарового коксування?
20. Які вихід та властивості продуктів, отримуваних у технології безперервного шарового коксування?
21. В чому полягають головні переваги технології безперервного шарового коксування?

Перелік літератури до 9 розділу

1. Шульга И. В. Скоростной нагрев и формирование угля в пластическом состоянии для производства формованного металлургического кокса (ФМК) // Справочник коксохимика. 3-е изд. Т. 1. Угли для коксования. Обогащение углей. Подготовка углей для коксования. Гл. 33 / И. В. Шульга. – Харьков: ИД ИНЖЭК, 2010. – С. 519-526.
2. Справочник коксохимика. – 3-е изд. Т. 2. Производство кокса // Гл. 18. Борисов Л. Н. Технология производства кокса без улавливания химических продуктов коксования. Гл. 19. Карпов А. В., Малина В. П., Шульга И. В.

Специальные технологии производства кокса. Харьков: ИД ИНЖЭК, 2014. – С. 644-667, 672-676, 683-688.

3. Сперанская Г. В. Научные основы производства формованного металлургического кокса из слабоспекающихся углей / Г. В. Сперанская, Ю. Б. Тютюнников, Л. И. Еркин и др.. – М.: Металлургия, 1987. – 272 с.

4. Ковалев Е. Т. Развитие химико-технологических процессов переработки угля / Е. Т. Ковалев, И. В. Шульга // Углекимический журнал. 2015. № 3. С. 21-31.

5. Шульга І. В. Отримання відновників для виплавки заліза з руди (до середини ХІХ ст.) / І. В. Шульга // Вісник НТУ ХП. Історія науки і техніки. 2011. № 1. С. 177-189.

6. Посохов М. Ю. Новая технология коксования “Heat-Recovery” / М. Ю. Посохов, М. И. Стуков, В. У. Коханский. и др. // Кокс и химия. 2006. – № 3. - С. 23 – 26.

7. Торяник Э. И. Нестационарная модель течения угольной пластической массы для разработки технологических параметров формования нагретой угольной шихты / Э. И. Торяник, И. В. Шульга, В. Н. Шмадченко, Е. В. Миненко / Кокс и химия. 1991. – № 9. – С. 19-21.

8. Торяник Э. И. Время пребывания пластической массы в пресс-формовочной машине и качество формованного кокса / Э. И. Торяник, В. Н. Шмадченко, И. В. Шульга и др. // Кокс и химия. 1990. – № 10. – С. 18-19.

9. Скляр М. Г. Теоретические основы технологии непрерывного слоевого коксования / М. Г. Скляр, А. В. Карпов // Кокс и химия. 1990. – № 6, – С. 17 – 20.

10. Шульга И. В. Рациональные режимы формования шихты с повышенным участием углей марки Т / И. В. Шульга, Э. И. Торяник, М. В. Лурье и др. // Кокс и химия. 1989. – № 11. – С. 15-18.

11. Торяник Э. И. Оптимизация процесса формования шихты на основе углей Западного Донбасса / Э. И. Торяник, И. В. Шульга, В. Н. Шмадченко и др. // Кокс и химия. 1989. – № 1. – С. 22-24.

12. Шептовицкий М. С. Особенности процесса газификации в интервале температур 900-1050 °С и его влияние на свойства формованного и слоевого кокса / М. С. Шептовицкий, Э. И. Торяник, Н. И. Тучина, И. В. Шульга // Кокс и химия. 1986. – № 3. – С. 23-25.

13. Шульга І.В. Матеріали технологічного завдання для проектування дослідно-промислової (головної) установки коксування без уловлювання хімічних продуктів / І. В. Шульга, Е. І. Торяник // НДР 230.006/6933. – Харків: УХІН, 2006. – 121 с.

10. УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ ПРОЦЕСІВ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПЕРЕРОБКИ ВУГІЛЛЯ

10.1 Напівкоксування твердих палив

Напівкоксування, разом з газифікацією та гідрогенізацією, є важливим способом хіміко-технологічної переробки вугілля. Згідно із п. 3.1 ДСТУ 2401-94 «Кокс кам'яновугільний та пековий. Терміни та визначення», *напівкоксування* – процес термічної переробки твердих палив без доступу повітря за кінцевих температур 450-550 °С.

Промислові установки для напівкоксування можуть мати внутрішній або зовнішній обігрів. Всі установки, що відповідають сучасному рівню розвитку техніки, безперервної дії.

На рис. 10.1 показана схема трizonної вертикальної печі напівкоксування з внутрішнім обігрівом конструкції німецької фірми Lurgi.

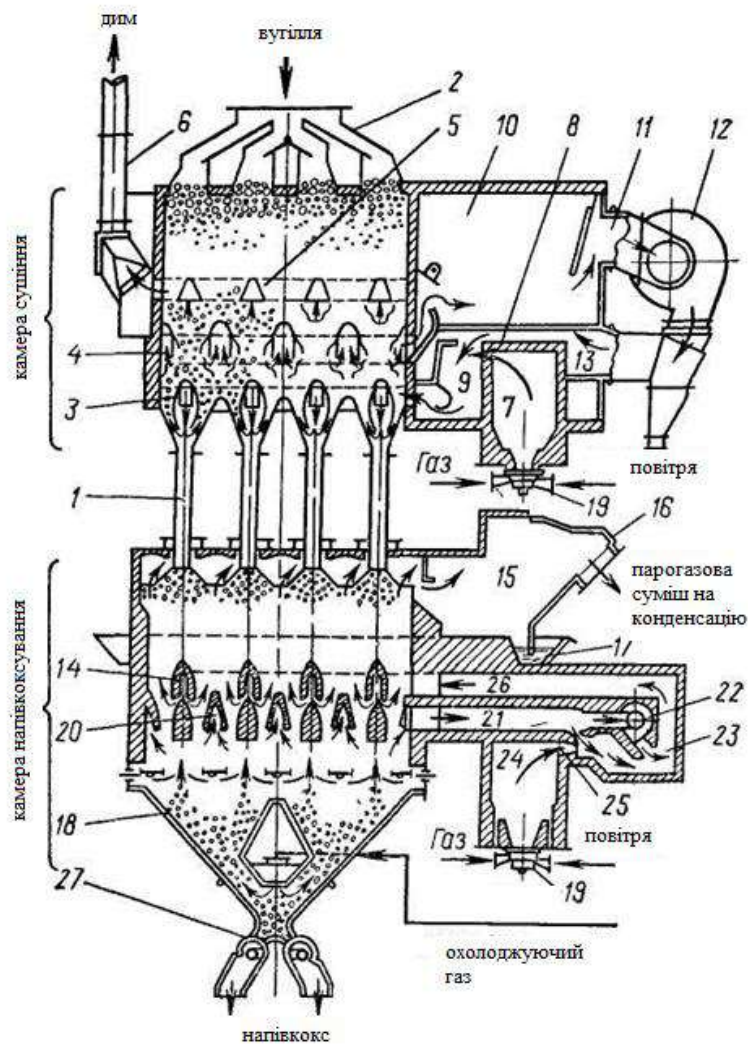


Рис. 10.1 Трizonна вертикальна піч з внутрішнім обігрівом

Найбільший розмір кусків завантажуваного матеріалу (сортового вугілля або брикетів) 20-80 мм. Шахта печі має площу поперечного перерізу 18 м² та висоту 16 м. Продуктивність однієї шахти 150 т вугілля на добу. Звичайно печі такого типу мають дві шахти, розташовані паралельно. За висотою шахти печі розташовуються:

- бункер вихідної сировини,
- зона сушки;
- камера напівкоксування, що складається з двох зон:
власне напівкоксування;
охолодження напівкоксу.

Таким чином, шахта складається з трьох зон:

- сушки,
- напівкоксування;
- охолодження.

Це й й зумовило назву печі.

Вихідне паливо з бункеру 2 надходить до зони сушки. Для видалення вологи з вугілля в топці 7 спалюють очищений газ, отримуваний в цій же печі.

Утворені продукти спалювання мають температуру 1200-1300 °С та через вікно 8 входять до камери 9, де їх температура знижується до 250-300 °С внаслідок змішування із парогазовою сумішшю з температурою близько 120 °С, яка надходить з шару підсушеного палива крізь канали 4, збірний канал 10, всисний канал 11, димосмок 12 та нагнітальний канал 13. Гази з камери 9 каналами 3 знов надходять до шару палива для його висушування. Відпрацьований сушарний агент, основними компонентами якого є водяна пара, вуглекислий газ та азот, каналами 5 відводиться на димар 6.

Підсушене паливо переточними рукавами 1 опускається до зони напівкоксування. Ці рукава є затворами, що запобігають взаємним перетокам газів між зонами сушки та напівкоксування. Тепло для здійснення процесу напівкоксування отримують шляхом спалювання газу в топці 24. Зниження температури продуктів спалювання від 1200-1300 °С до 650-700 °С здійснюють шляхом розбавлення газами з температурою 230-250 °С, які відводять із зони напівкоксування крізь канали 20 за допомогою вентилятору 22. Можливе також інжектування газів без використання вентилятору, для чого до пальнику 19 топки 24 подають деякий надлишок опалювального газу. Теплоносій з потрібною температурою надходить до зони напівкоксування крізь канали 14. Парогазові продукти з верхньої частини зони напівкоксування крізь збірний канал 15 з гідрозатвором 17 надходять до газовідводу 16, а потім – на охолодження, конденсацію смоли та абсорбцію газового бензину. Більша частина очищеного газу потім повертається на обігрів самої печі напівкоксування.

Готовий напівкокс ссипається до бункеру 18, куди для охолодження напівкоксу до 150-200 °С подають холодний опалювальний газ. Охолоджений напівкокс надходить до розвантажувального пристрою 27. Охолоджувальний газ, нагріваючись, піднімається догори, частково змішується з газами, поданими крізь канали 14, та каналом 21 за допомогою вентилятору 22 надходить до змішувальної камери 23. Сюди ж крізь вікно 25 з топки 24 надходять гарячі продукти спалювання. Суміш газів крізь розподільчий канал 26 надходить до засипки зони напівкоксування.

Головною перевагою такої печі є висока інтенсивність теплопередачі, внаслідок чого час перебування матеріалу в зонах сушки та напівкоксування не перевищує 8-9 годин, що досягається завдяки безпосередньому контакту засипки з теплоносієм. Але це ж зумовлює і головний недолік печі – забруднення парогазових продуктів циркулюючим теплоносієм, тобто власними продуктами спалювання. Через це відведений з печі газ є сумішшю первинного газу напівкоксування з продуктами спалювання. Цей газ містить до 50 % азоту, його нижча теплота спалювання становить лише 6-8 МДж/м³, енергетична цінність такого газу невелика, а як джерело хімічних речовин він і зовсім практичної цінності не має. Тому печі з внутрішнім обігрівом застосовують головним чином лише тоді, коли цільовим продуктом є напівкокс.

В той же час існують і конструкції печей з внутрішнім обігрівом, в яких разом з напівкоksom отримують товарні хімічні продукти. На рис. 10.2 подана тунельна піч.

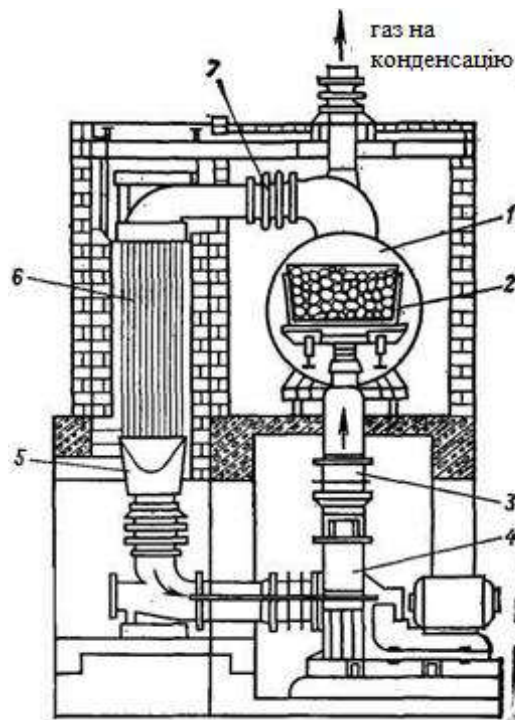


Рис. 10.2. Тунельна піч для напівкоксування

Всередині тунелю 1 рухаються спеціальні вагонетки 2 з перероблюваним паливом. Тунель шлюзами розділений на три камери відповідно стадіям процесу:

- сушці;
- напівкоксуванню;
- охолодженню.

Одночасно в тунелі розміщується більше 20 вагонеток довжиною близько 3 м кожна. Загальна довжина печі сягає 70 м. Вагонетки рухаються за допомогою проштовхувачів з гідравлічним приводом. Кожна вагонетка має подвійне дно:

- внутрішнє решітчасте;
- зовнішнє глухе із звареним в центрі штуцером.

Вагонетки переміщуються кожні 7-9 хв так, що за їх зупинки штуцери співпадають з відповідними патрубками трубопроводу газу-теплоносія 3, розташованого в нижній частині тунеля.

Газ-теплоносій крізь штуцер надходить до вагонетки, проходить крізь шар палива висотою близько 750 мм, вентиляторами 4 відсмоктується разом з виділеними парогазовими продуктами з камери та надходить у калорифери 6, що обігріваються продуктами спалювання газу та розміщені в опалювальному каналі з вогнетривкої цегли, паралельному тунелю.

Як теплоносій в камері сушки використовується суміш продуктів згоряння опалювального газу та вологи, випареної з вугілля за його сушки. Кількість циркулюючого теплоносія безперервно збільшується через випаровування вологи з вугілля, тому надлишковий теплоносій скидають до атмосфери.

В камері напівкоксування теплоносій – парогазові продукти напівкоксування. Їх надлишок (8-9 % від загального об'єму циркулюючих газів та парів) відводиться у відділення охолодження та конденсації.

Між камерами напівкоксування та охолодження влаштований шлюз, в якому напівкокс у вагонетках охолоджується водяною парою. В камері охолодження він остаточно гаситься водою.

В тунельній печі в цілому вдалось зберегти переваги внутрішнього обігріву – інтенсивну теплопередачу, високий теплотехнічний ККД. Багаторазова циркуляція теплоносія крізь шар палива забезпечує високу рівномірність температур, що збільшує вихід первинної смоли та газового бензину. Взаємне переміщення часток матеріалу за його транспортування у вагонетках та продування теплоносієм запобігає спіканню. Але досягнуто це ціною виникнення нових недоліків – надзвичайних складності конструкції печі та її експлуатації.

У більшості випадків за переробки палив, парогазові продукти напівкоксування яких мають значну споживацьку цінність (наприклад, горючі сланці, сапропелітове та ліптобіолітове вугілля) застосовують камерні печі із зовнішнім обігрівом, теплопередача в яких здійснюється крізь стінку. Це знижує інтенсивність теплообміну, але дозволяє зберегти високі споживацькі властивості парогазових продуктів, запобігаючи їх забрудненню продуктами спалювання.

На рис. 10.3 показана схема камерної печі із зовнішнім обігрівом. Вугілля за допомогою завантажувального пристрою 1 крізь бункер 2 надходить до камер напівкоксування висотою до 10 м, довжиною до 4 м та шириною 400-460 мм. Камери виконані розширюваними донизу, щоб забезпечити вільне транспортування перероблюваного матеріалу в печі під дією гравітаційної сили. За висотою камера розділена на кілька зон:

- сушки та напівкоксування 3;
- догазовування 4;
- охолодження 5.

Паливо проходить послідовно всі три зони. В першій з них, опалюваній зоні напівкоксування 3, відбувається нагрів палива без доступу повітря, сушка матеріалу та термічна деструкція органічної маси. Зона догазовування 4 призначена для завершення процесів термохімічних перетворень органічної маси палива. Якщо отримуваний напівкокс є товарним продуктом, то в цій зоні відбувається його додаткове витримування за високих температур, що сприяє глибшій термічній деструкції та поліпшенню споживацьких властивостей напівкоксу. За переробки високозольних палив (горючих сланців, бурого вугілля, відходів вуглезбагачування тощо) зольність напівкоксу стає настільки високою (50-85 %), що він втрачає споживацьку цінність та стає відходом виробництва. При цьому до зони відгазовування подають повітря, що газифікує залишкову органічну масу напівкоксу. Виділене при цьому тепло прогріває вищі шари матеріалу в зоні напівкоксування. В зоні охолодження 5 температура напівкоксу (або шлаку від його газифікації) знижується. Охолоджений матеріал крізь розвантажувальний пристрій 6 вивантажується з камери порціями по 40-100 кг крізь рівні проміжки часу (15-60 хв).

Вивільнений простір в нижній частині камери заповнюється шарами матеріалу, що надходять згори і т.д., внаслідок чого вільний простір з'являється вже у верхній частині камери, де він заповнюється свіжим паливом з бункеру 2, що, в свою чергу, поповнюється за допомогою завантажувального пристрою 1. Розвантажувальний пристрій 6 має гідрозатвор 7, що запобігає викидам шкідливих речовин з камери напівкоксування у доквілля. Вивантажений напівкокс (або шлак) потрапляє до вагонетки 8, охолоджується водою та транспортується для подальшого використання.

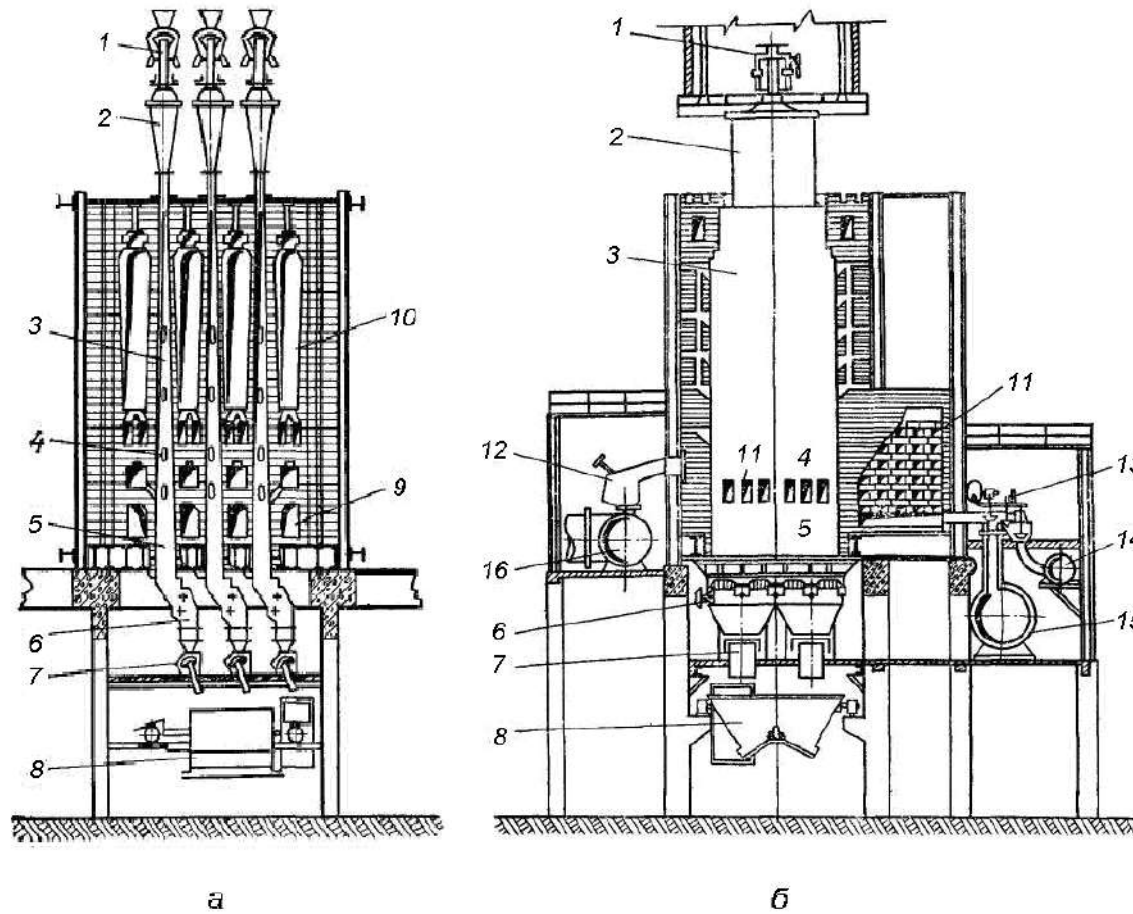


Рис. 10.3. Батарея камерних печей безпервної дії для напівкоксування твердих палив:
a – загальний вигляд; *б* – розріз за камерою

Обігрів печей здійснюється за допомогою розміщених між камерами напівкоксування опалювальних простінків 10, кожен з яких розділений на вісім опалювальних каналів. В кожен момент часу опалювальний очищений первинний газ напівкоксування горить у половині простінків (парних або непарних). Продукти спалювання перекидними каналами надходять у вертикали другої половини простінків (непарних або парних). Через 20-30 хв за допомогою спеціального кантувального пристрою 13 відбувається автоматичне кантування, та напрямок руху всіх потоків в опалювальній системі змінюється на протилежний. Тепло продуктів спалювання з вертикалів використовується в регенераторах 11 для підігріву повітря, що надходить у вертикали для забезпечення горіння. Охолоджені продукти спалювання з регенераторів надходять до лежаку 15, а звідти – на димар. Опалювальний газ надходить до простінків розподільчим газопроводом 14.

Парогазові продукти напівкоксування з обох боків камери відводяться кількома похилими газовідвідними каналами, виконаними у кладці печі, а потім за допомогою горизонтального збірного каналу крізь клапанну коробку 12 надходять до газозбірника 16, де газ з усіх печей установки усереднюється та охолоджується до 80-82 °С шляхом зрошування циркулюючою водою. Охолоджений газ разом зі сконденсованою смолою та невивпареною водою надходить на установки очищення.

За зовнішнього обігріву отримують менш забруднені баластними речовинами та тому якісніші парогазові продукти, але продуктивність процесу знижується (до 15-17 т сировині на добу для однієї камери) внаслідок меншої інтенсивності теплопередачі крізь стінку.

Використати теплотехнічні переваги внутрішнього обігріву без погіршення якості парогазових продуктів дає можливість застосування твердих малореакційноздатних теплоносіїв. Член-кореспондент АН України І.Є. Коробчанський запропонував використовувати як такий теплоносій дрібнозернистий шамот. Теплоносій нагрівається до 800-900 °С в потоці продуктів спалювання адсорбованих на поверхні шамоту смоли, вугільного та напівкоксувального пилу, відділяється від них в циклоні та надходить до верхньої частини шахтної печі, де змішується з вихідним вугіллям. Напівкоксування здійснюється за рахунок тепла нагрітого шамоту. З нижньої частини печі суміш напівкоксу та шамоту надходить на розділення до пневмосепаратору, звідки теплоносій знов надходить до нагрівача.

Слід також зазначити загальний недолік розглянутих процесів, пов'язаний з тим, що вони ведуться в стаціонарному шарі (в інтервалі часу між видачами порцій напівкоксу та завантаженнями порцій вугілля засипка більшу частину часу лишається нерухомою) – необхідність використання

грубокускового палива. За меншого розміру кусків гідравлічний опір вугільної засипки стає занадто великим, що ускладнює проходження парогазових продуктів напівкоксування (та газу-теплоносія за внутрішнього обігріву) крізь нерухомий шар палива, погіршує рівномірність прогріву і якість отримуваних парогазових продуктів. Через розвиток механізованих способів видобутку вугілля грубокускове (т.зв. «сортове») паливо стає дедалі дефіцитнішим. Тому удосконалення технології та устаткування для напівкоксування в останні десятиріччя йшло головним чином шляхом створення установок переробки палива з меншим розміром часток. Крім того, використання дрібнішого палива з більшою питомою поверхнею дозволяє значно інтенсифікувати процеси теплопередачі як за рахунок збільшення величини теплосприймаючої поверхні, так і внаслідок зниження теплового опору дрібних зерен.

В печі Борзіг-Гейссена напівкоксування (рис. 10.4) відбувається в тонкому (до 50 мм) шарі вугілля крупністю 15-30 мм, що надходить з бункера 1 та рухається спіральною траєкторією згори донизу між обертальними 3 (2-3 об/хв) та оздобленими напрямними 4 нерухомими 2 циліндрами.

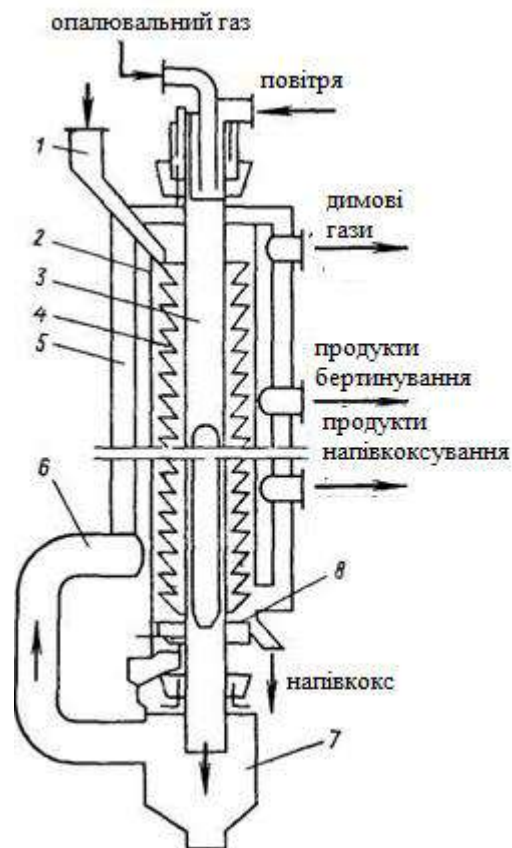


Рис. 10.4. Печ Борзіг-Гейссена

Продукти згоряння опалювального газу зі спеціальної топки спочатку надходять до верхньої частини внутрішнього обертального циліндру, а потім – з нижньої частини циліндру крізь камеру 7 циркуляційною трубою 6 надходить до зовнішнього нерухомого циліндру 5, з верхньої частини якого скидаються до атмосфери. Таким чином, вугілля нагрівається з двох боків. З верхньої частини камери евакууюються продукти сушки та бертинування (першої стадії термохімічних перетворень) – головним чином низькомолекулярні речовини (переважно H_2O та CO_2), а з нижньої частини – продукти, отримані за вищих температур, в т.ч. первинна смола та газовий бензин. Напівкокс з печі видаляється крізь розвантажувальний пристрій 8.

В стаціонарному шарі печі Борзиг-Гейссена інтенсифікувати теплопередачу вдалося лише за рахунок зменшення товщини шару. Завдяки цьому дещо знизилась припустима мінімальна межа крупності вугілля, але втрати продуктивності виявились визначальними та не компенсуються скороченням часу перебування вугілля в печі до 12-15 хв. Тому продуктивність печі становить лише 30-40 т вугілля на добу.

За напівкоксування в обертальних печах поверхня засипу безперервно оновлюється, а зерна вугілля рухаються одне відносно одного. Це дає можливість як зменшити гідравлічний опір руху газів (та завдяки цьому переробляти дрібніше паливо), так і дещо інтенсифікувати теплообмін.

Напівкоксування за методом *KSG* (рис. 10.5) відбувається в обертальній печі із зовнішнім обігрівом.

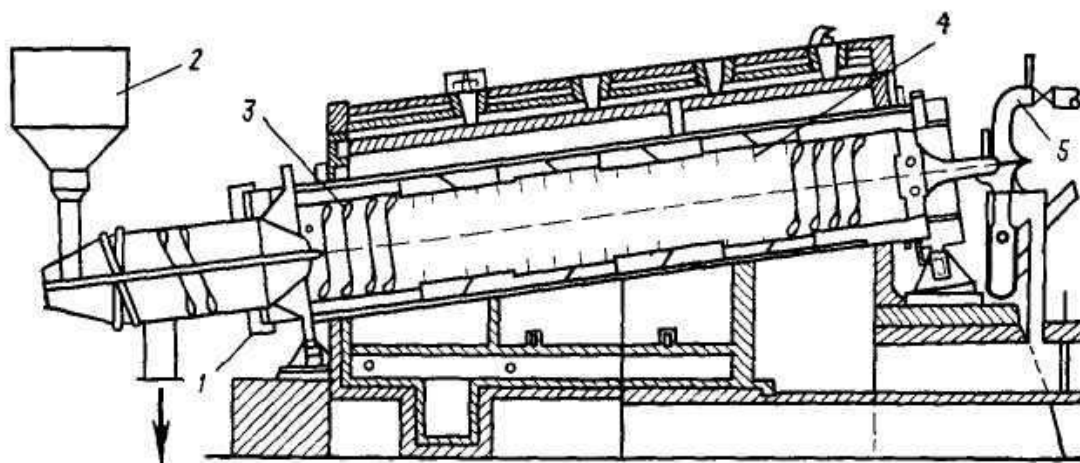


Рис. 10.5. Піч *KSG*

Реакційна зона утворена двома коаксіальними барабанами 3 та 4 діаметрами відповідно 3,0 та 1,7 м, довжиною 20 м, встановленими під кутом 6° у бік видачі напівкоксу, які обертаються зі швидкістю 0,6 об/хв. Вугілля з

бункеру 2 надходить до внутрішнього барабану зі шнеком, що переміщує паливо догори довжиною барабану. Тут відбувається сушка та нагрів вугілля до 300 °С. У верхній частині печі вугілля переходить до зовнішнього барабану, в якому за руху палива до нижнього торцю і відбувається напівкоксування. Відведення парогазових продуктів відбувається від верхнього торцю печі 5, а вивантаження напівкоксу – крізь нижній торець 1.

За цим методом можна переробляти дрібніше паливо, але продуктивність печі невелика (70-75 т/добу), оскільки вона обмежується в першу чергу недостатньою інтенсивністю теплообміну за зовнішнього обігріву. Тому застосування внутрішнього обігріву з використанням твердого теплоносія в обертальних печах також є ефективним.

За методом Коррера установка для напівкоксування вугілля складається з двох обертальних печей, розташованих горизонтально з невеликим нахилом одна над іншою (рис. 10.6).

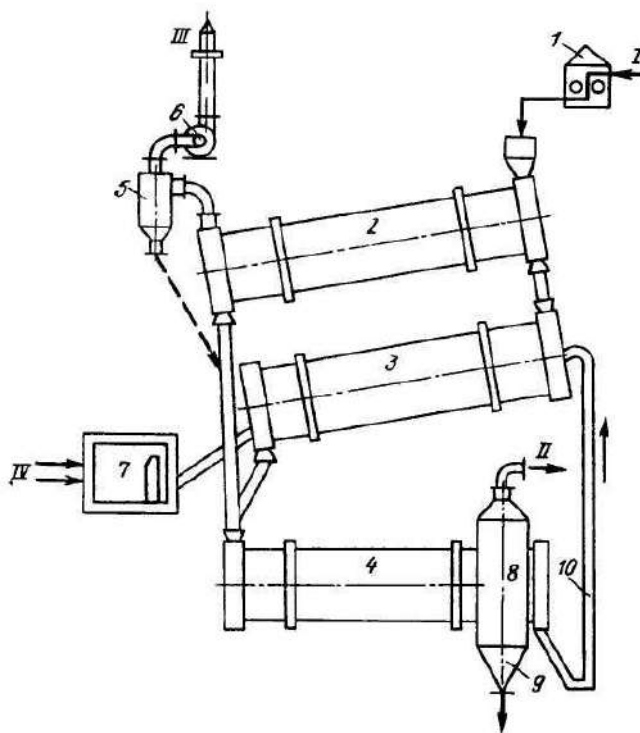


Рис. 10.6. Установка для напівкоксування в обертальних печах з використанням твердого теплоносія

- 1 – попередній підігрів вугілля; 2 – піч для сушки вугілля; 3 – піч для нагріву твердого теплоносія; 4 – піч напівкоксування; 5 – циклон; 6 – нагнітач;
7 – топка; 8 – розділювач; 9 – вивантаження напівкоксу; 10 – ерліфт для теплоносія;
I – вугілля; II – парогазові продукти напівкоксування;
III – продукти спалювання; IV – газ та повітря у топку

У верхній печі відбувається сушка та підігрів вугілля, а в нижній – напівкоксування. Теплоносій – сталеві кулі діаметром 115 мм, які нагрівають продуктами спалювання в спеціальному підігрівачі, що розташований між ретортами та є трохи похилим каналом, яким кулі скочуються під дією сили тяжіння назустріч потоку гарячих продуктів спалювання та надходять до нижньої печі. На виході з неї кулі з температурою близько 500 °С відділяють від напівкоксу на грохоті та подають елеватором до верхньої печі, куди надходить вихідне вугілля. На виході з верхньої печі кулі знов відділяють від підігрітого вугілля, що надходить до нижньої печі, а кулі – до підігрівачу.

Проф. В.І. Коробчанський та ін. (ДонНТУ) запропонували кулі нагрівати продуктами спалювання в додатковій (середній) обертальній печі, а продукти спалювання з неї використовувати для сушки і підігрівання вугілля у верхній печі. Для зменшення кількості циркулюючого твердого теплоносія кулі виконують порожніми та заповнюють сумішшю хлоридів кальцію (46 %) та натрію (54 %) з температурою плавлення 555 °С. Це дозволяє використовувати для напівкоксування тепло не лише від охолодження солей, але й від їх кристалізації.

Можливості інтенсифікації процесу в обертальних печах, як і в печах із стаціонарним шаром, обмежені недостатньою поверхнею теплопередачі: тільки тією частиною сумарної поверхні кусків перероблюваного матеріалу, яка в даний момент часу безпосередньо контактує з теплоносієм. Тому час перебування матеріалу в обертальних печах, хоча і в кілька разів менший, ніж за використання стаціонарного шару, все ж достатньо великий (0,5-1,5 год), що негативно впливає на продуктивність.

Для подальшої інтенсифікації процесу слід забезпечити повний контакт всієї поверхні кожної вугільної зернини з теплоносієм. Таку можливість дають швидкісний нагрів вугілля в кипучому шарі або в газовому потоці, що і є основою більшості перспективних технологій напівкоксування. При цьому максимальний розмір часток палива не повинен перевищувати кількох міліметрів, а парогазові продукти мають практично миттєво видалятися із зони високих температур. У відповідності з відзначеними вище загальними закономірностями процесу напівкоксування таке сполучення технологічних факторів забезпечує збільшення виходу парогазових продуктів та зниження ступеню їх піролізованості.

Розроблено кілька процесів, в яких сполучуються багатоступінчастий нагрів бурого вугілля з наступною газифікацією отриманого залишку. В одному з таких процесів першою стадією є швидкісний нагрів подрібненого до 1-2 мм вугілля до 350 °С у вихрових камерах (рис. 10.7).

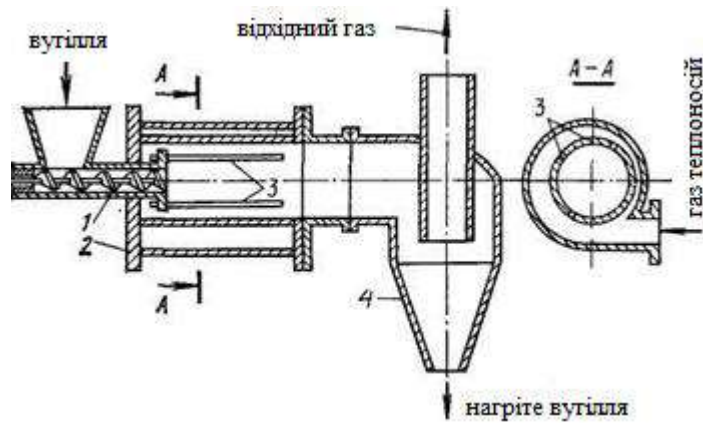


Рис. 10.7. Вихрова камера:

1 – шнековий живник; 2 – кришка; 3 – сопла; 4 – циклон

В процесі Cogas нагріте вугілля надходить на напівкоксування в кипучому шарі послідовно в двох піролізерах 1 та 2 за 450 і 540 °С (рис. 10.8). Утворений напівкокс надходить до аналогічного піролізеру 3, де відбувається середньотемпературне коксування за 870 °С.

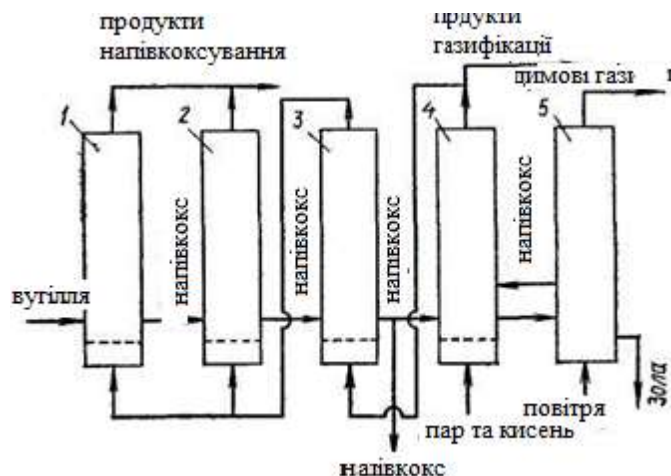


Рис. 10.8. Схема процесу переробки бурого вугілля за методом Cogas

Утворені парогазові продукти середньотемпературного коксування надходять у перші два піролізери, де використовуються як теплоносій, а кокс надходить до газогенератору 4, що працює на парокисневому дутті. Отримуваний генераторний газ використовується як теплоносій за середньотемпературного коксування. Деяка кількість коксу від газогенератору передається до печі 5, де частково спалюється, а решта повертається до газогенератору 4 як твердий теплоносій.

Газ із газогенератору 4 спрямовується на спалювання для отримання теплоносія для нагріву вугілля на першій стадії процесу. Товарними

продуктами на установці є парогазові продукти напівкоксування та середньотемпературний кокс з піролізу 3 в кількості понад потребу для забезпечення теплом процесів піролізу. Цей кокс має високу теплоту спалювання (до 25 МДж/кг проти 16 МДж/кг для вихідного вугілля), розгалужену систему макро- та мікропор, що дозволяє застосовувати його як адсорбент у системах очищення промислових викидів і стоків, а також інтенсифікувати процеси його наступного використання за газифікації або спалювання.

На рис. 10.9 показана схема процесу Garret, що дозволяє отримувати вуглеводневий паливний газ з високою теплотою спалювання (20-22 МДж/м³) та напівкокс, або смолу та напівкокс.

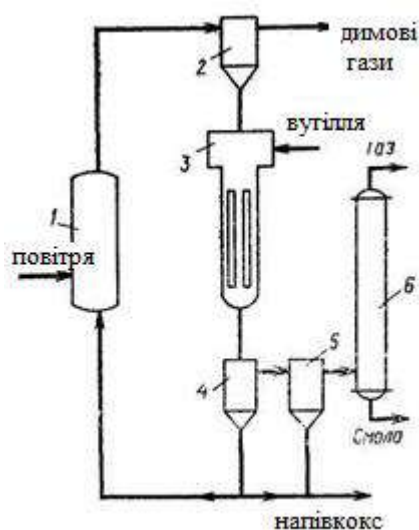


Рис. 10.9. Схема процесу Garret

Подрібнене вугілля надходить до верхньої частини реактору 3, де воно змішується з гарячим циркулюючим напівкоksom та рухається до реакційної зони, де відбувається швидкісний піроліз протягом ~2 с за ~870 °С (якщо отримують газ) або за ~570 °С (якщо потрібний високий вихід рідких продуктів). Парогазову суміш відділяють в циклонах 4 та 5, а циркулюючий напівкокс частково спалюють в печі 1, де отримують нагрітий теплоносій, що повертається до циклу за допомогою циклону.

Вихід газу в процесі Garret сягає 30 мас. %. Цей газ має наступний середній склад (об. %): Н₂ – 26,8; СО – 30,0; СО₂ – 8,5; СН₄ – 22,4; С_nН_{2n} – 12,3. Крім того, утворюється ~10 мас. % важких рідких вуглеводнів, що можуть бути виділені як товарний продукт (смола) або повернуті до реактору. Напівкокс має теплоту згорання ~26 МДж/кг та виділяє за повторного нагріву ~10 % легких продуктів. У варіанті з переважним

отриманням рідких продуктів виходи в середньому складають (мас. %): напівкокс 56,7; смола 35,0; газ 6,6; пірогенетична вода 1,7.

Високі виходи смоли в процесах Cogas та Garret пояснюються тим, що напівкоксування в них здійснюється в середовищі воденьвмісних газів, внаслідок чого відбуваються процеси гідропіролізу, які призводять до взаємодії певної частини вугілля з воднем та утворенню додаткових кількостей газоподібних і рідких продуктів.

На рис. 10.10 подана принципова схема комплексної енерготехнологічної переробки палива.

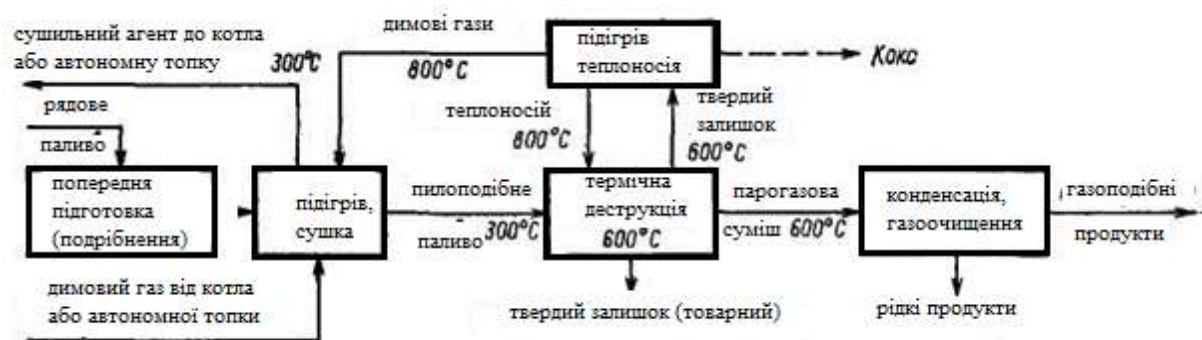


Рис. 10.10. Принципова схема комплексної енерготехнологічної переробки палива

Вугілля подрібнюють до заданої крупності, а потім сушать та підігрівають до 120-400 °С за допомогою газоподібного теплоносія (продуктів спалювання з технологічної топки). Після відділення подрібненого вугілля від газу-теплоносія в циклоні його змішують з твердим теплоносієм. За нагріву вугілля здійснюється його напівкоксування. Утворені парогазові продукти термічної деструкції відводять на охолодження, конденсацію та очищення. Частину утвореного напівкоксу відводять до технологічної топки, де внаслідок його часткового спалювання утворюється твердий теплоносій, що повертається до основного процесу. Решта напівкоксу є товарним продуктом.

В одному з варіантів реалізації методу використовують пиловидне (до 0,5 мм) паливо. Напівкоксування відбувається в струменевих реакторах, як показано на рис. 10.11. Вологе вугілля подрібнюють в шахтному млині 9 до розміру часток не більше 0,5 мм з одночасною сушкою до вологості 4 % продуктами спалювання від топки або котла. Сухе дрібнодисперсне вугілля відділяється в циклонах 1 від сушарного агента (продуктів спалювання), досушується та підігрівається до 250-300 °С в реторті продуктами спалювання, отримуваними в технологічній топці 4.

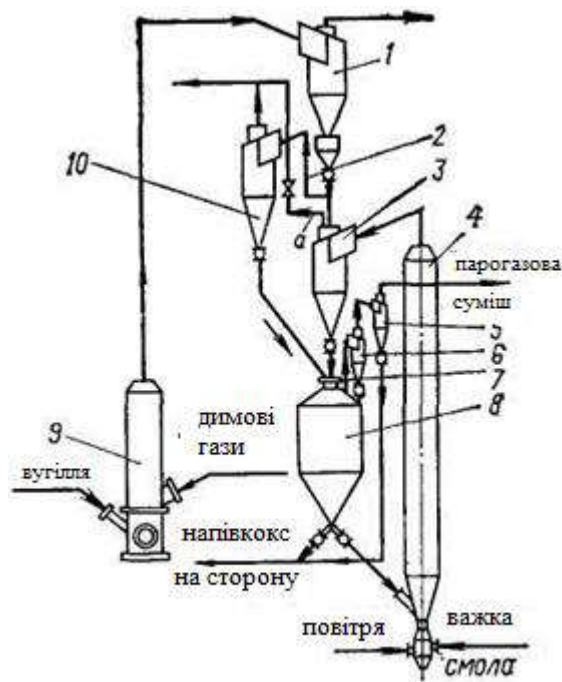


Рис. 10.11. Схема комплексної енерготехнологічної переробки палива

Реторта – вертикальна труба 2, що сполучує циклон гарячого коксу 3 з циклоном гарячого дрібнодисперсного вугілля 10. З цього циклону гаряче вугілля надходить до камери змішування 7 реактору 8, де змішується з циркулюючим твердим теплоносієм – порошковим коксом з цього ж вугілля, отримуваним в технологічній топці 4.

Внаслідок змішування гаряче дрібнозернисте вугілля швидко підігрівається до температури 600-700 °С. При цьому за термічної деструкції, яка продовжується і в реакторі 8, утворюються парогазові продукти, що після попереднього очищення від пилу в циклонах 5 та 6 надходить до відділення очищення газу та конденсації смоли. Надлишок напівкоксу, отриманого в реакторі, надходить до охолоджувача напівкоксу, потім у змішувач шнекового типу, де він осмолується середніми та важкими фракціями первинної смоли, та на установку брикетування разом із сепарованим дрібняком з циклонів 1, 5 та 6. Отримані брикети термоокиснюють за 200 °С продуктами спалювання, що містять 10 % кисню. При цьому отримують брикетоване бездимне паливо з високою теплою згоряння.

Інший варіант (див. рис. 10.12) передбачає напівкоксування крупніших (до 2 мм) часток в реакторах з кипучим шаром.

Дрібнодисперсний напівкокс брикетують для отримання побутового палива. Як зв'язуюче застосовують важкі фракції смоли напівкоксування. Зазначені варіанти відпрацьовані в дослідно-промислових масштабах.

Розроблені проекти установок продуктивністю за вугіллям відповідно 175 т та 300 т вугілля на годину.

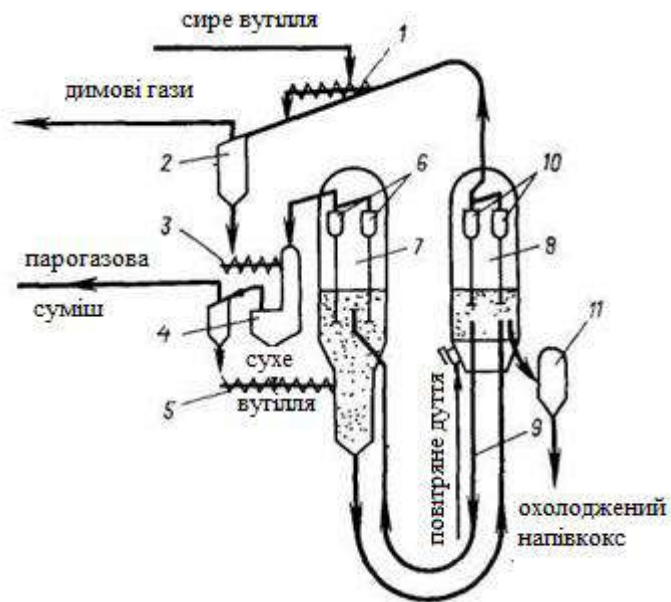


Рис. 10.12. Технологічна схема напівкоксування в кипучому шарі:
 1 – шнек для подачі вологого вугілля; 2 – циклон для відділення підсушеного вугілля; 3 – шнек для подачі підсушеного вугілля; 4 – сушарка кипучого шару; 5 – шнек для подачі сухого вугілля; 6 – циклони реактору напівкоксування; 7 – реактор напівкоксування; 8 – топка; 9 – ерліфт; 10 – топочні циклони; 11 – охолоджувач напівкоксу

На рис. 10.13 показана схема енерготехнологічної переробки твердих палив різних видів, в т.ч. горючих сланців.

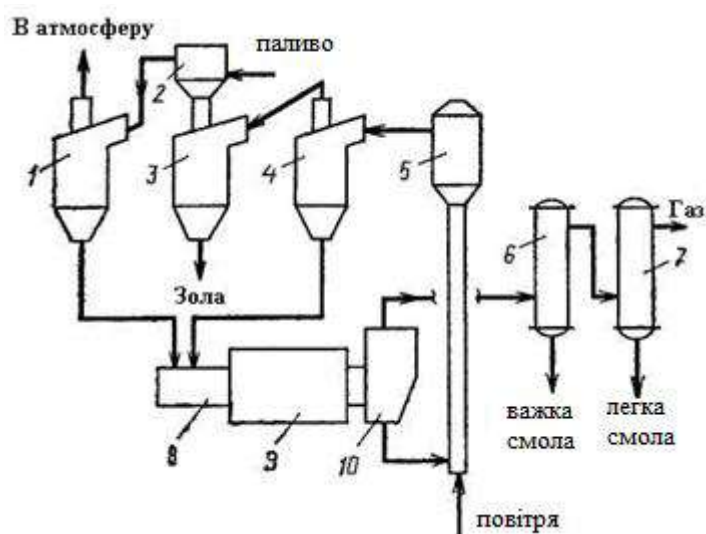


Рис. 10.13. Схема енерготехнологічної переробки твердих палив, в т.ч. горючих сланців

Теплоносієм тут є зола палива. Подрібнене паливо (розмір часток не більше 10 мм) піддають сушці в сушарці 2 гарячими продуктами спалювання, виведеними із сепаратору 3. Відділившись від продуктів спалювання в циклоні 1, паливо надходить до змішувача 8, куди також надходить твердий теплоносіє (зола) із сепаратору 4. В реакторі 9 (футерований вогнетривкою цеглою барабан діаметром 1,6 м та довжиною 4,5 м, що обертається з частотою 1,8 об/хв) здійснюється процес піролізу. Парогазові продукти відділяються від коксозольного залишка в сепараторі 10 та охолоджуються в конденсаторах 6 і 7. Коксозольний залишок містить 3-5 % горючих речовин. Спалювання його у аерофонтанній топці 5 дозволяє отримати тепло, необхідне для висушування палива та його піролізу.

Зі сланцю, що містить 33,5 % органічної маси, за такої переробки були отримані наступні виходи продуктів (кг/т сланцю): смола 190, газовий бензин 10, газ 47 (нижча теплота згоряння 45 кДж/м³), пірогенетична вода 30.

Переробка на енерготехнологічній установці бурого вугілля з вологістю 32 % з використанням напівкоксу як твердого теплоносія дозволяє отримати з 1 т вугілля 325 кг напівкоксу (теплота згоряння 27,2 МДж/кг), 42 кг смоли (36,4 МДж/кг) та 58 м³ газу (20 МДж/кг).

Створення енерготехнологічних установок, в яких сполучається використання твердого палива як хімічної сировини та як енергоносія, є одним з найважливіших напрямків технічного прогресу в галузі переробки твердих горючих копалин. На основі енерготехнологічних принципів раціонального природокористування можна організувати постачання крупних промислових об'єктів практично всіма необхідними енергоносіями, одночасно розширити ресурси використовуваної хімічної сировини та суттєво скоротити шкідливі викиди у довкілля.

Таким чином, напівкоксування – освоєний в світовій промисловій практиці процес, що дозволяє перевести частину органічної маси вугілля до малопіролізованих парогазових продуктів, головним джерелом яких є зараз переробка нафти і природного газу. З цієї точки зору процес має певні перспективи. Але для підвищення його ефективності слід вирішити низку важливих питань, серед яких слід відзначити:

- промислова реалізація технологій, що дозволяють переробляти дрібнодисперсну сировину;
- інтенсифікація процесу без погіршення якості парогазових продуктів за ступенем піролізованості та вмістом баластних речовин;
- кваліфіковане використання отриманого напівкоксу.

10.2 Газифікація твердих палив

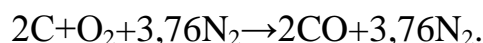
Газифікація – високотемпературний процес взаємодії палива з окисниками (повітря, кисень, водяна пара, вуглекислий газ або їх суміші) з метою отримання горючих газів (водню, метану, оксиду вуглецю).

Класифікація процесів газифікації вугілля:

1. За конструктивними особливостями реакційної зони:
 - з нерухомим (стаціонарним) шаром вугілля;
 - з кипучим шаром вугілля;
 - з газифікацією в потоці (пиловидного палива або водовугільної суспензії).
2. За способом підведення тепла:
 - автотермічні – без підведення тепла ззовні;
 - алотермічні – з підведенням тепла від зовнішніх джерел.
3. За типом застосованого окисника:
 - повітряні;
 - кисневі;
 - парові;
 - вуглекислотні;
 - комбіновані (пароповітряні, парокисневі, повітрянокисневі).
4. За способом шлаковидалення:
 - з твердим шлаковидаленням (без плавлення мінеральної частини вугілля);
 - з рідким шлаковидаленням (з плавленням мінеральної частини вугілля).
5. За тиском в газогенераторі:
 - під тиском, близьким до атмосферного;
 - за підвищеного тиску (до 4,0 МПа).

Гази, отримувані внаслідок газифікації, називають *генераторними*. *Ідеальний* генераторний газ – газ, отримуваний за газифікації чистого вуглецю з використанням певного типу дуття. Головні характеристики ідеальних генераторних газів наведені в табл. 10.1.

Повітряний газ може бути отриманий за взаємодії вуглецю з киснем повітря за реакцією:



Це супроводжується виділенням тепла в кількості 219,1 кДж/моль вуглецю.

Таблиця 10.1 – Характеристика ідеальних генераторних газів

Газ	Склад, % (об.)			Вихід, м ³ /кг	Нижча теплота згорання 1 м ³ газу	
	CO	H ₂	N ₂		МДж	ккал
Повітряний	34,7	-	65,3	5,39	4,4	1050
Водяний	50,0	50,0	-	3,73	11,77	2809
Напівводяний	40,3	18,2	41,5	4,63	7,08	1690
Оксиводяний	68,9	31,1	-	2,61	12,15	2900

Водяний газ – продукт взаємодії вуглецю з водяним паром.

Напівводяний газ отримують на пароповітряному дутті. При цьому частина вуглецю перетворюється на повітряний газ, а виділене при цьому тепло витрачається на утворення водяного газу з решти вуглецю. Сумарне рівняння процесу в цьому випадку має вигляд:



Оксиводяний газ можна отримати на парокисневому дутті за тих же умов, що й напівводяний.

Узагальнені рівняння отримання ідеальних генераторних газів:



де λ та γ – числові коефіцієнти, що характеризують співвідношення кількостей CO та CO₂ в продуктах реакції. Їх значення залежать від умов проведення процесу та знаходяться наступних межах: $1 \leq \lambda \leq 2$, $0,5 \leq \gamma \leq 1$.

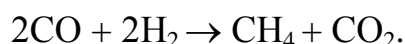
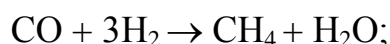
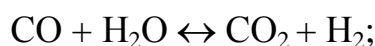
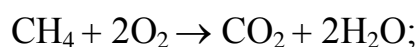
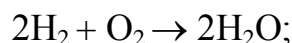
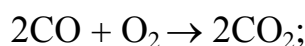
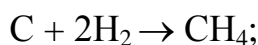
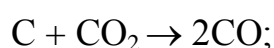
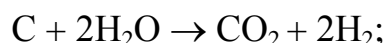
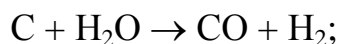
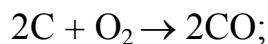
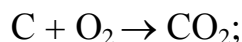
Реальні генераторні гази за своїм складом та властивостями в більшому або меншому ступені відрізняються від ідеальних з наступних причин:

1. Газифіковані палива, окрім вуглецю, містять й інші елементи, що також утворюють газоподібні речовини, які переходять до реальних генераторних газів.

2. За нагріву в процесі газифікації відбувається термічна деструкція вихідного палива без участі компонентів дуття.

3. Утворювані за газифікації речовини здатні до вторинних взаємодій між собою, з вихідним паливом та компонентами дуття. Тому за газифікації

відбуваються не лише реакції, записані узагальненими рівняннями, а й багато інших, зокрема:

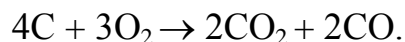


Цей перелік реакцій також не є вичерпним. Зокрема, за термічної деструкції (сухої перегонки) палива утворюються складніші речовини: ненасичені та ароматичні (в т.ч. поліциклічні) вуглеводні, феноли, карбонові кислоти тощо.

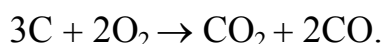
4. Швидкість різних реакцій, що відбуваються за газифікації, неоднакова. Серед них є і оборотні. Тому на склад отримуваних реальних генераторних газів впливають технологічні параметри процесу (поля температур та тисків в реакторі, час перебування матеріалу в його різних зонах).

Сучасні уявлення про кінетику реакцій газифікації базуються на тому, що в дифузійній області (коли лімітуючими стадіями процесу в цілому є підвід реагентів до реакційної поверхні та відведення від неї продуктів

реакції) дві молекули кисню втулюються між атомами вуглецю. Третя молекула кисню зумовлює реакцію:



В кінетичній області (коли лімітуючою є стадія власне хімічної взаємодії) реагують лише крайові атоми вуглецю з утворенням та термічним розкладом вуглець-кисневого комплексу з отриманням суміші CO та CO₂ у співвідношенні 2:1:



Газифікація кускового палива в стаціонарному шарі була реалізована в 70-80 роках XIX ст. німецькою фірмою Lurgi (рис. 10.14).

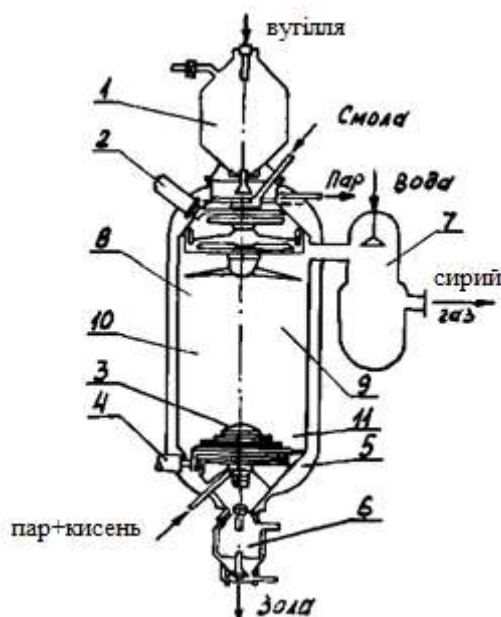


Рис. 10.14. Реактор Лургі для газифікації кускового палива в стаціонарному шарі

Вугілля з розмірами зерен 3-30 мм подається крізь шлюзову камеру 1 до верхньої частини реактора та рівномірно розподілюється по його перерізу за допомогою розподільного пристрою 2. Парокисневе дуття подається до нижньої частини реактору крізь прорізи в решітці 3, що обертається за допомогою приводу 4, протиток до руху вугілля, що, реагуючи, опускається донизу. Спочатку парокиснева суміш проходить крізь шар гарячого шлаку на решітці та підігрівається. Потім газу надходять до зони горіння 11 перетвореного на кокс вугілля, де температура сягає 1000-1200 °С. З цієї зони гарячі газу (утворений за горіння вуглекислий газ, водяна пара та

кисень, який не прореагував) потрапляють до зони газифікації 10, де відбуваються ендотермічні реакції взаємодії вуглецю з вуглекислим газом та водяною парою. Температура газів знов знижується. За температур 700-850 °С ендотермічні реакції припиняються та утворені продукти газифікації, піднімаючись догори, нагрівають вугілля, яке там знаходиться, та з якого внаслідок термічної деструкції в зоні 9 виділяються парогазові продукти. Їх суміш з продуктами газифікації за руху до верхньої частини шару крізь зону сушки вугілля 8 охолоджується до 300-700 °С, а потім відводиться до газового колектору 7, де охолоджується циркулюючою водою та відводиться на очищення.

Енергію, необхідну для здійснення ендотермічних реакцій вуглецю з вуглекислим газом та водяною парою, отримують за спалювання залишку палива, який не прореагував, в зоні горіння 11 над шаром золи, тобто цей процес є автотермічним, як і більшість промислових технологій. Корпус 5 газогенератору має пароводяну сорочку для охолодження шахти.

Ця технологія зберегла своє значення дотепер, завдяки безперервним значним удосконаленням.

В колишньому СРСР в 50-х роках ХХ ст. працювало більше 350 генераторних станцій, на яких були встановлені близько 2,5 тис газогенераторів, переважно типу Lurgi для газифікації в стаціонарному шарі. Але потім робота газогенераторів була поступово припинена через великомасштабну розробку нафтогазових родовищ північних та східних районів країни. Були припинені і дослідні роботи. Останній газогенератор в Україні був зупинений 1981 р. на дінасовому заводі в м. Покровськ Донецької обл.

В той же час, наприклад, в Південно-Африканській Республіці корпорація Sasol, створена в 50-х р.р. ХХ ст. через ембарго на постачання продуктів до цієї країни, незважаючи на відміну ембарго наприкінці 80-х р.р., і дотепер обіймає лідируючі позиції в галузі процесів переробки вугілля з метою виробництва різноманітних твердих, рідких та газоподібних продуктів для енергетики, хімічної промисловості, транспорту та інших сфер. Максимальний обсяг переробки вугілля в окремі періоди сягав 40 млн т/рік. При цьому головним чином використовується комбінація двох основних процесів:

- газифікація в стаціонарному шарі за технологією Lurgi для отримання синтез-газу, цільовими компонентами якого є оксид вуглецю та водень;
- каталітична переробка синтез-газу на вуглеводні за Фішером-Тропшем.

З вугілля, що надходить на підприємство, перед подачею на газифікацію відсіваються дрібні класи, що використовуються на

енергетичних установках для виробництва пари та електроенергії, надлишок яких після забезпечення виробничих потреб є товарною продукцією.

Головними *перевагами* технології Lurgi є:

- великі масштаби промислового впровадження;
- відносна простота апаратурного оформлення та умов експлуатації;
- високий термічний ККД процесів.

В той же час цьому процесу притаманні і значні *недоліки*:

- використання дефіцитного сортового вугілля крупністю більше 3-13 мм;
- велика кількість побічних продуктів виробництва;
- низький ступінь конверсії водяної пари та велика кількість утворюваних стічних вод;
- великі капітальні та експлуатаційні витрати.

Ці обставини спричинили, зокрема, закриття заводу Great Plains в США після восьми років експлуатації.

Газифікація в кипучому шарі. Цей спосіб, здійснюваний в генераторі Winkler, також отримав широке розповсюдження за кордоном, де працює близько 40 установок, призначених головним чином для отримання газу з метою наступного його використання в процесах хімічного синтезу. Поперечний переріз шахти газогенератору Winkler сягає 28 м², висота шахти 22 м. Технологічна схема процесу наведена на рис. 10.15.

Вугілля після подрібнення надходить до бункеру 1, а потім гвинтовим живником подається до кипучого шару газогенератору 2. Температуру в газогенераторі підтримують нижче температури плавлення для запобігання шлакування. Золу видаляють крізь футеровану шахту, звужувану донизу. Винесені вугільні частки повторно газифікуються у верхній частині газогенератору. Газ проходить котли-утилізатори (економайзери) 3 та 4, циклони 5, конденсатор 6, сепаратор 7 та краплевловлювач 8. Вловлений в циклонах вугільний пил може вивантажуватись до накопичувальної ємності 9 або повертатись на газифікацію крізь проміжну ємність 10.

На основі високотемпературного способу газифікації в кипучому шарі Winkler концерном Rheinischebraunkohlenwerke розроблена технологія отримання синтез-газу, відновлювального газу, водню та опалювального газу.

Сучасні газогенератори Winkler відрізняються введенням та розподілом газоподібних реагентів крізь відносно невелику кількість розміщених на різних рівнях трубчастих сопел, а також наявністю циклонно-пневмотранспортної системи виводу та повернення неконвертованого вугілля без застосування механічних транспортуючих засобів.

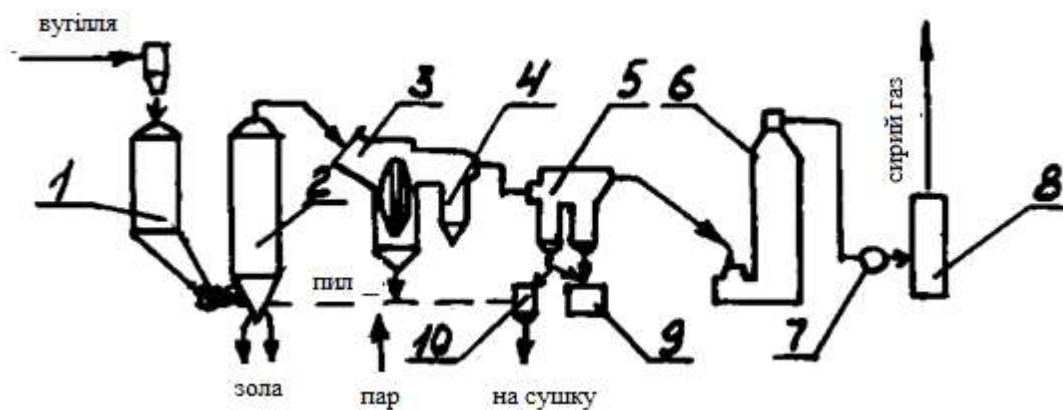


Рис. 10.15. Технологічна схема газифікації за способом Winkler в киплячому шарі

Досягнута питома продуктивність за перероблюваним вугіллям $22 \text{ т}/(\text{м}^2 \cdot \text{годину})$ під тиском до 2,5 МПа.

В Україні розробки в даному напрямку ведуться Інститутом вугільних енерготехнологій НАН України (м. Київ). Обґрунтована доцільність термохімічної переробки низькосортного, в т.ч. високозольного, енергетичного вугілля в циркулюючому кипучому шарі (ЦКШ) для вирішення екологічних проблем, а також подолання існуючої енергетичної кризи. Цей висновок ґрунтується на результатах експериментів з повітряної газифікації високозольного кам'яного та бурого вугілля України в ЦКШ на установці КФС-02.

Головними перевагами технології з використанням кипучого шару є:

- простота апаратурного оформлення;
- висока швидкість процесу;
- низький вміст забруднень в стічній воді.

До недоліків процесу можна віднести:

- неможливість використання вугілля навіть з незначною спікливістю;
- необхідність використання вугілля з двобічними обмеженнями за крупністю, подрібнення занадто крупних зерен призводить до додаткового утворення непридатних до газифікації дрібних класів;
- значні втрати вихідного вугілля з виносом;
- низький ступень перетворення вугілля;
- висока вологість газу;
- значний вміст в генераторному газі CO_2 , непридатного ані для енергетичного, ані до хімічного використання.

Прямоточна газифікація пиловидного палива в потоці. Схема переробки вугілля за способом Koppers-Totzek показана на рис. 10.16.

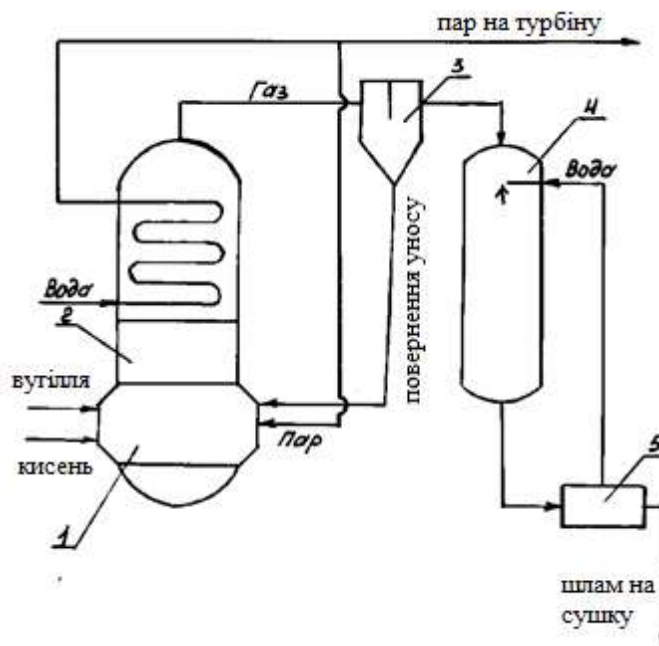


Рис. 10.16. Газифікація вугілля в потоці за технологією Koppers-Totzek

Вугілля після підсушування та тонкого помолу (до вмісту класу менше 0,09 мм близько 70 %) транспортується азотом до реакційної частини газогенератору 1, куди також надходять кисень та водяна пара. Внаслідок процесів газифікації в реакторі утворюються газ та розплавлений шлак. Останній відводиться на охолодження та гранулювання. Генераторний газ з температурою 1500 °С надходить до котла-утилізатору 2 для отримання водяної пари, частина якого подається до реактору у складі дуття. Потім газ очищують від пиловидних часток в циклоні 3 та в зрошуваному циркулюючою водою скрубєрі 4. Вловлені в циклоні частки повертаються знов до реактору без додаткової підготовки, а частки зі скрубєру відстоюються від води в освітлювачі 5, після чого надходять на сушку разом з вихідною сировиною.

Газифікація вугілля в потоці лежить в основі процесу Shell. Ця технологія здійснена в проекті Demkoles в Нідерландах на електростанції потужністю 253 МВт. Викиди шкідливих речовин (в кг/ГДж) складають за оксидами азоту 0,073 та за оксидами сірки 0,026.

За технологією PRENFLO (компанія UNDE) газифікація здійснюється за тиску 4МПа. При цьому генерується синтез-газ наступного складу (об. %): водень 27,0; оксид вуглецю 64,0; діоксид вуглецю 2,0; водяна пара 1,4; сполуки сірки 0,3; інертні гази 5,2; метан 0,3; хлороводень 200 млн⁻¹.

В Пуертолано (200 км на південь від Мадриду) споруджена перша промислова установка з газифікації вугілля в процесі PRENFLO для європейської електростанції з комбінованим циклом, що дозволяє

отримувати електроенергію з вугілля. Передбачена підготовка суміші (1:1) з високозольного (47 %) вугілля Пуертолано та високосірчастого (5,5 %) нафтового коксу. З 2500 т/добу подрібненої та висушеної сировини отримують 180 тис м³ сирого газу, що складається головним чином з водню та оксиду вуглецю і має нижчу теплоту згоряння 10,6 МДж/м³ (0 °С, 101,3 кПа).

Головними *перевагами* процесу газифікації вугілля в потоці є:

- можливість переробляти вугілля з різними властивостями;
- висока швидкість процесу;
- мала кількість забруднень в стічній воді.

До *недоліків* технології можна віднести:

- великі габарити устаткування;
- складність транспортування подрібненого вугілля потоком азоту;
- інтенсивний абразивний знос устаткування;
- значний винос вугілля з отримуваним газом;
- необхідність застосування складних та швидкодіючих систем автоматичного управління.

Прямоточна високотемпературна киснева газифікація водовугільної пульпи. Ця технологія відома в першу чергу як процес Техасо. Її схема наведена на рис. 10.17.

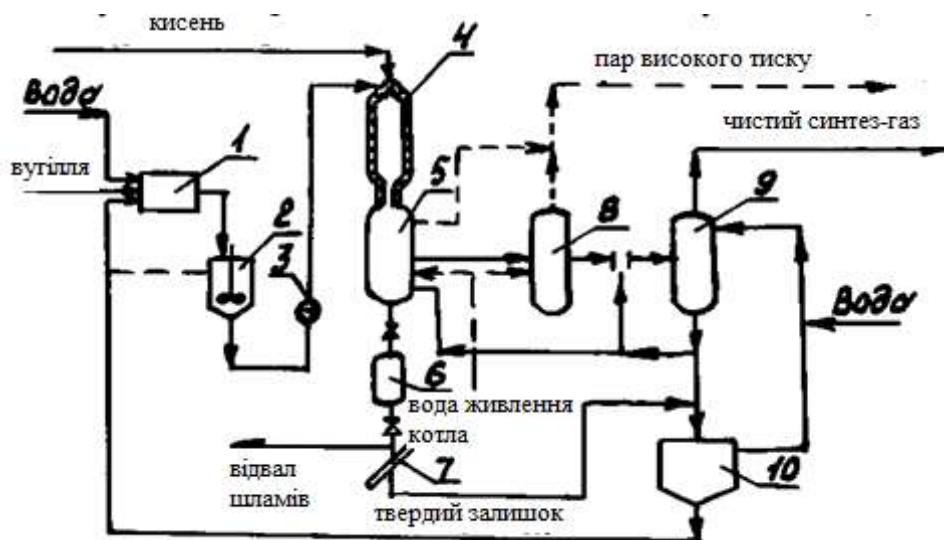


Рис. 10.17. Газифікація водовугільної пульпи за технологією Техасо

Вугілля з додаванням води подрібнюють в кульовому млині вологого типу 1 до 100 % вмісту класу менше 0,08 мм, а потім в апараті 2 додають воду до співвідношення вугілля:вода = 1:(0,8-1,5), після чого отримана пульпа насосом 3 подається до форсунки реактору 4, куди також надходить кисень. Тиск в апараті сягає 4,0 МПа, температура – 1600 °С. Отриманий газ проходить

два котли-утилізатори 5 та 8. В першому відділяється розплавлений шлак, що надходить до гранулятора 6, звідки отримані тверді гранули вивантажують за допомогою шнеку 7. Охолоджений газ очищується від пилу в скрубєрі 9, а вловлені вуглецеві частки виділяються в освітлювачі 10.

В останні десятиріччя найбільша кількість виробничих потужностей в світі з газифікації вугілля споруджується саме за технологією Техасо. Цей процес використовується для виробництва електроенергії, синтез-газу, водню та деструкції відходів.

Аналогічні принципи покладені в основу процесу Conoco-Philips. Його відрізняльною особливістю є конструкція реактору з двобічним підведенням пульпи.

Головні *переваги* газифікації водовугільної пульпи:

- можливість переробки вугілля будь-якої вологості;
- відсутність стадії виробництва пари;
- можливість утилізації вторинних ресурсів;
- високі техніко-економічні показники;
- висока швидкість процесу;
- практично повна відсутність стічних вод;
- можливість використання для приготування пульпи забруднених вод інших виробництв.

Слід також відзначити і *недоліки* процесу:

- низький тепловий ККД;
- проведення процесу лише за високих температур та тисків;
- складна схема автоматизації процесу.

Порівняльна характеристика розглянутих технологій газифікації наведена в табл. 10.2.

Таблиця 10.2 – Порівняльна характеристика технологій газифікації

Показники та одиниці виміру	Числові значення для технологій			
	Lurgi	Winkler	Koppers-Totzek	Техасо
1	2	3	4	5
Рух потоків	Протиток	Прямоток		
Золовидалення	Тверде або рідке	Тверде	Рідке	Рідке
Максимальний діаметр газогенератору, мм	4700	6000	3500	7600
Час перебування в реакторі:				
Вугілля	0,5-1,5 години	≤20 хв	1...2 хв	1...2 с

Продовження таблиці 10.2

1	2	3	4	5
Газу	15 с	3...5 с	1...3 с	1...2 с
Продуктивність:				
за вугіллям, т/годину	17...40	10...50	10...75	100
за газом, тис м ³ /годину	35...50	17...100	20...150	20...150
Можливі зміни потужності, %	100...140	25...150	60...100	100...130
Крупність вугілля, мм	3...50	≤ 10	< 0,1	< 0,08
Спikливiсть	Слабка	Відсутня	Без обмежень	
Робоча вологість вугілля, %	≤ 18	≤ 10	≤ 7	-
Температура плавління золи, °С	-	> 1000	Без обмежень	
Тиск, МПа	≤ 3,5	≤ 0,13	≤ 3,0	≤ 4
Максимальна температура, °С	1100	1100	1300	1800
Температура газу на виході з реактору, °С	400...600	800-1050	1200	1600
Спiввiдношення в дутті О ₂ :пара	1:5	1:1	1:0,02	-
Витратні коефіцієнти на 1000 м ³ газу:				
вугілля, кг	650-1000	610...750	560...750	750...800
кисень, м ³	160...250	250...350	350...450	350...450
вода технiчна, м ³	1,5...1,8	1,5...2,1	1,5...2,5	1,5...2,5
вода охолоджувальна, м ³	110	120	130	130
електроенергія, кВт·годин	5...25	40...50	50...65	50...65
пар, кг	500...600	250...300	50	-
Вихід газу парокисневого дуття, м ³ /т палива	2...2,2	1,94...2,1	1,94...2,3	1,94...2,3
в т.ч. СО+Н ₂	1...1,3	1,4...1,6	1,7...2,2	1,7...2,2
Супутня продукція на 1 т палива:				
пара, т	1,05...1,2	1,05...1,2	2,1...2,3	2,1...2,3
смола, кг	15...45	Отсутствие		
газовий бензин, кг	3...15	Отсутствие		
Склад газу парокисневого дуття, об. %				
СО ₂	28...34	19...24	11...12	11...12
СО	14...22	31...38	55...56	55...56
Н ₂	36...39	40...41	30...32	30...32
Н ₂	1	1...2	2	2

Закічення таблиці 10.2

1	2	3	4	5
CH ₄	9...13	2	1	1
C _m H _n	1	-	-	-
H ₂ S + COS	1	1	1	1
Відношення H ₂ :CO в генераторному газі	1,4	0,8	0,5...0,6	0,5...0,6
Нижча теплота згоряння генераторного газу парокисневого дуття Q, МДж/м ³	10...11	9...10	11	11
Інтенсивність газифікації $I = \frac{PQ}{V}$, ГДж/м ³ ·годину, де V – об'єм реактору, м ³ , P – проодуктивність за газом, тис м ³ /годину	3...5	1...8	4...25	4...25
Питома продуктивність газогенератору:				
за вугіллям, т/ м ² ·годину	2,4	1,5	3,7	5,5
за газом, м ³ / м ² ·годину	5700	1100... 3000	5800	10000
Зольність сухого шлаку, %	92...95	95	99	99,5
Ступінь перетворення вугілля на парогазові продукти, %	99	60...90	90...96	99
Ступінь розкладу пари, %	36	35...45	85...90	-
Термічний ККД газогенератору, %	75...85	45...75	75...85	75

Перспективні технології газифікації. Корпорація British Coal Corp. розробила процес повітряної газифікації вугілля у *фонтануючому випучому шарі* для отримання низькокалорійного газового палива з метою промислового використання і як додаткового (підсвітного) палива в системах для виробництва електроенергії. Також в British Coal Corp. розроблений комбінований енергетичний цикл, що базується на частковій газифікації вугілля з наступним допалюванням залишку.

В низці країн проводяться роботи з газифікації вугілля в *розплавах*. Німецький спосіб отримання з вугілля малосірчистого газу, що складається головним чином з водню та оксиду вуглецю, відрізняється тим, що вугілля піддають частковій (на 40-75 %) окиснювальній газифікації у

високотемпературному газогенераторі з кипучим шаром, а суміш неконвертованого вугілля після відділення в циклоні від первинного генераторного газу спрямовується до ванни з розплавом заліза, в якій відбувається утворення вторинного генераторного газу. В Україні процес газифікації вугілля в розплаві золи розроблявся НТЦ «Есхар» ТВО «Харківенерго». В ДП «УХІН» були досліджені властивості антрацитових штибів як сировини для цього процесу, гідродинаміка реактору на холодній моделі та можливі технології очищення генераторного газу.

Фірмою ICOP на заводі в Преторії (ПАР) введена до експлуатації установка, на якій реалізований процес COREX, що є комбінацією виробництва гарячого металу, аналогічного за складом доменному чавуну з вмістом (%) вуглецю 4,3, кремнію 0,35 та сірки 0,05, а також чистого газу, придатного для різних цілей. На аналогічних принципах базується розроблена в Інституті газу Національної АН України під керівництвом Б.І. Бондаренка технологія *виробництва губчастого заліза* шляхом прямого відновлення генераторним газом, отримуваним за газифікації пиловидного палива в потоці. Генеральним проектувальником технології визначений ДП «ГИПРОКОКС». ДП «УХІН» виконані проробки з визначення вугільної сировинної бази процесу.

Ідея *підземної газифікації вугілля* була вперше експериментально перевірена на початку ХХ ст. англійським вченим У. Рамзаєм. За підземної газифікації твердих паливних копалин з денної поверхні крізь надпластову породу 3 до продуктивного пласта 1 пробурюють вертикальні свердловини 2 на відстані 25-30 м одна від одної (рис. 10.18).

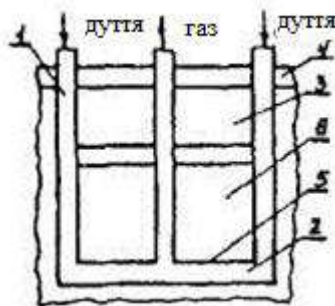


Рис. 10.18. Принципова схема підземної газифікації вугілля

Для сполучення вертикальних свердловин проходять спеціальну горизонтальну виробітку 4. Крізь крайні скважини до пласта 1 подають повітря під тиском 0,3-0,4 МПа, яке проходить до середньої свердловини та виходить на поверхню. За допомогою запального пристрою пласт

підпалюють. Вогнище горіння переміщується до свердловин відбору газу. Після цього крайніми свердловинами починається подача дуття – повітря або кисню. В низці випадків до складу дуття підмішують водяну пару.

З середніх свердловин відбирають отриманий газ. Газифікація відбувається у горизонтальній виробітці, що називається вогневим штреком 5, потік дуття та утвореного газу омиває розпечену поверхню вугільного пласту, яку називають вогневим забоєм 6. Найінтенсивніше вугілля газифікується поблизу області подачі дуття. Тому час від часу змінюють напрямки потоків, аби досягти рівномірнішої газифікації пласту.

В Україні роботи з використання для газифікації (в т.ч. підземної) низькосортного вугілля, започатковані у Львівському інституті геології та геохімії горючих копалин Національної АН України Ю.В. Стефаніком, зараз ведуться під керівництвом Д.В. Брика. Однак серед вчених та громадськості у світі немає єдиної точки зору щодо можливих екологічних наслідків підземної газифікації. Так, в США проект Williams Cos з підземної газифікації вугілля зустрів опір захисників довкілля.

Низка робіт спрямована на інтенсифікацію газифікації вугілля шляхом використання сучасних досягнень техніки та технології: в плазмі, алотермічна газифікація з використанням *надлишкового тепла ядерного реактору*, енергії *електромагнітного та радіаційного* випромінювань.

За *каталітичної* газифікації механізм перетворень за взаємодії вуглецю з газифікуючими агентами в присутності каталізаторів пов'язують з утворенням проміжних сполук – оксидів, пероксидів та гідроксидів різних металів. Найбільшу каталітичну активність в процесах газифікації вугілля виявляють сполуки *s-* та *d-*елементів (головних підгруп I-II груп та побічних підгруп III-VII груп періодичної системи елементів) – переважно лужних та лужноземельних металів, а також заліза. В Інституті науки про хімічні реакції Токійського університету встановлено, що вискоелективним каталізатором реакцій газифікації бурого вугілля можуть бути кислотні змиви після обробки поверхні сталевих плит. В Українському державному хіміко-технологічному університеті УДХТУ (м. Дніпро) як каталізатор газифікації запропоновано використовувати металургійні шлаки – відходи мартенівського, конвертерного та феросплавного виробництв.

Головні властивості твердих палив, що визначають умови проведення процесів газифікації. *Спикливість* – властивість, що ускладнює газифікацію. Для усунення її негативного впливу за проведення газифікації в щільному шарі застосовують різноманітні перемішувальні пристрої, які підтримують шар в розпушеному стані. За газифікації в кипучому шарі застосовують лише повністю неспикливе паливо. Відомі способи попередньої

підготовки твердого палива до газифікації, що передбачають повне усунення спікливості шляхом штучного прискореного окиснення вугілля перед газифікацією.

Шлакоутворююча здатність палива – властивість його мінеральної частини перетворюватись на міцну спечену або сплавлену масу (шлак) під дією високих температур та газового середовища. Плавкість золи та шлакоутворююча здатність палива характеризуються індексом основності (основно-кислотним співвідношенням) золи:

$$I_o = \frac{\text{FeO}_x + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3}, \quad (10.1)$$

де FeO_x , CaO , MgO , Na_2O , K_2O , SiO_2 , Al_2O_3 – масова частка відповідних оксидів (основних – у числівнику, кислотних та амфотерних – у знаменнику) в складі золи вугілля, %.

Практично для всього вугілля $I_o < 1$, тобто мінеральні речовини вугілля за газифікації утворюють кислий шлак. В рідкому стані він тягучий, в твердому – скловидний. За зростання індексу основності шлак в рідкому стані стає менш в'язким та тягучим, при застиганні утворює каменеvidну масу, а за дуже великих значень I_o охолоджені шлаки в повітрі розсипаються на тонкий порошок.

За збільшення індексу основності в золі стає більше легкоплавких оксидів, тому температура плавлення знижується. Максимальна температура в газогенераторах з твердим золовидаленням має бути не менш ніж на 100 °C нижчою за температуру початку розм'якшення золи. Навпаки, в газогенераторах з рідким шлаковидаленням температура зольних залишків на виході з реакційної зони має бути не менш ніж на 100 °C вищою за температуру початку текучості золи.

Гранулометричний склад палива справляє суттєвий вплив на процес газифікації. Для газогенераторів із щільним шаром палива співвідношення між максимальним та мінімальним розмірами часток не має бути більшим за 2 : 1. Для бурого вугілля, що має низьку механічну міцність, мінімальний розмір кусків становить 25 мм, для міцніших матеріалів (кам'яного вугілля, антрациту, напівкоксу та коксу) – 3-12 мм в залежності від висоти шахти газогенератору (для більшої висоти потрібний більший розмір часток).

Для газогенераторів з кипучим шаром застосовують паливо з розміром часток 1-10 мм. В кожному конкретному газогенератору різниця максимального та мінімального розмірів часток має складати 2-3 мм для запобігання виносу неконвертованих часток з генераторним газом та

осадження їх в золоприймальному пристрої. Припустимий вміст часток з розмірами нижче за мінімальні в паливі для газогенераторів не має перевищувати 10-12 %. За газифікації в потоці крупність вугілля – не більш ніж 0,08-0,1 мм.

Зольність палива суттєво впливає на конструкцію та ефективність роботи газогенератору. За газифікації з видаленням золи в твердому стані як в стаціонарному, так і в кипучому шарі можна використовувати палива із зольністю до 15-20 %. За рідкого шлаковидалення припустима зольність 50-60 %. Зольність визначає вихід шлаку за газифікації. За достатньої повноти здійснення реакцій газифікації вміст органічних речовин в шлаку не має перевищувати 8 %, тобто вихід шлаку:

$$B_{ш} = (1,08 - 1,09) A^d.$$

Сірчистість вугілля визначає вміст сполук сірки в отриманому генераторному газі. Звичайно до газу переходить близько 80 % ресурсів сірки у вихідному паливі.

Вологість газифікованих палив бажано підтримувати мінімальною, оскільки за присутності води певна кількість тепла витрачається на її випаровування, а це погіршує техніко-економічні показники процесу. Припустима вологість палива для різних варіантів апаратного оформлення процесу, %:

- за газифікації в стаціонарному шарі та атмосферному тиску на пароповітряному або парокисневому дутті – 40-50;
- те ж за тиску 2,0-2,5 МПа – 30-33;
- за газифікації в кипучому шарі та в потоці при використанні дуття, що містить пару – 20-25.

За газифікації водовугільної пульпи вологість вихідного палива не лімітується.

Реакційна здатність палива, що характеризується швидкістю його взаємодії з газифікуючими агентами, помітно впливає на показники процесу. Термодинамічні розрахунки свідчать, що, як правило, реакції газифікації мають повністю завершуватись в інтервалі температур 900-1000 °С. Однак за реальних умов в залежності від властивостей палива для цього потрібна різна температура. Так, газифікація торфу повністю завершується за температур, близьких до термодинамічних, вугілля – за 1150 °С, коксу – за 1300 °С. Вважають, що реакційна здатність різних палив пов'язана з неоднорідністю їх поверхні, зумовленої наступними причинами:

– нерівноцінність хімічних зв'язків між атомами, що складають структуру вуглецевого матеріалу. Відомо, що швидкості окиснення вуглецю в кристаліті через явище анізотропії вздовж та поперек базисних площин розрізняються на 1-2 порядки;

– неоднорідність пористої структури та різна доступність внутрішньої поверхні вуглецевого матеріалу для дифузії газів;

– хімічна неоднорідність реакційної поверхні, яка окрім вуглецю містить атоми водню, кисню, сірки, азоту, а також металів, здатних справляти каталітичний вплив.

Сировинна база за промислової реалізації процесів газифікації вугілля в Україні має ґрунтуватись на наявних запасах вугілля. Сумарно за категоріями А + В + С₁ загальна величина запасів сягає майже 50 млрд т. Частка у видобутку малометаморфованого довгополум'яного та газового вугілля менша їх частки в балансових запасах в кілька разів. Буре вугілля зараз взагалі не видобувають. Саме ці марки вугілля мають стати сировиною для газифікації як з точки зору їх технологічних властивостей, так і з урахуванням того, що сумарна частка такого палива в загальних балансових запасах становить 62,4 %.

Підготовка вугілля до газифікації. Головними технологічними операціями є класифікація вугілля за крупністю та забезпечення потрібного гранулометричного складу. Класифікацію за крупністю здійснюють на звичайних грохотах, застосовуваних у вугільній промисловості та описаних в главі 2. Дрібне кам'яне вугілля за підготовки його до газифікації в щільному (стаціонарному) шарі брикетують за допомогою пресів. За підготовки вугілля до газифікації в кипучому шарі його подрібнюють до крупності в кілька міліметрів з використанням дробарок, наприклад, молоткових, також описаних вище, в главі 3.

Перед газифікацією в потоці вугілля необхідно подрібнити до крупності не більше 0,08-0,1 мм. За використання для газифікації дугтя, що містить пару, застосовують подрібнення в кульових млинах (рис. 10.19). Водовугільну пульпу для газифікації за методом Техасо отримують за мокрого подрібнення, принципова схема якого показана на рис. 10.20.

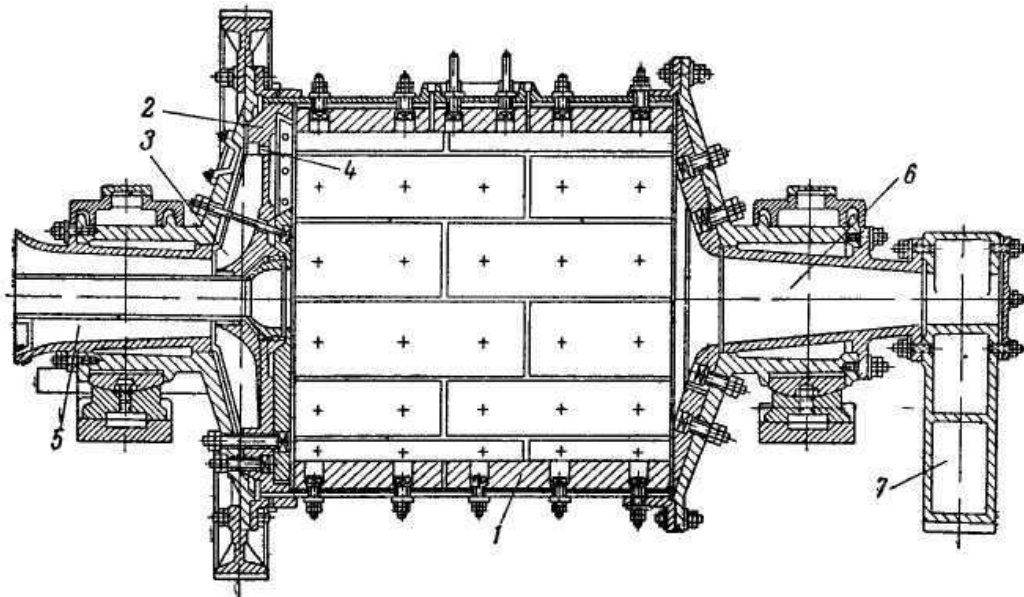


Рис. 10.19. Кульовий млин
 1 – барабан; 2 – діафрагма; 3 – ребра; 4 – регулювальні отвори;
 5 – розвантажувальна цапфа; 6 – завантажувальна цапфа; 7 – живник

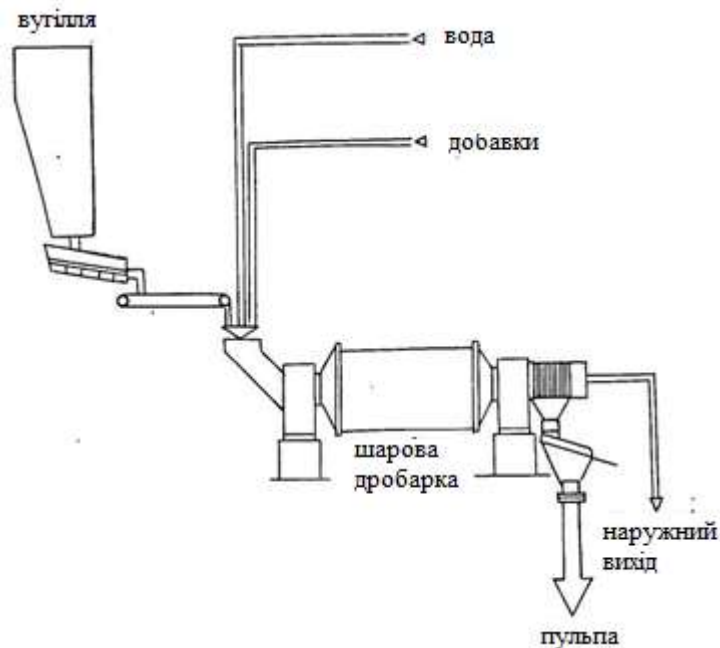
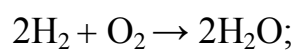
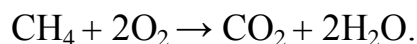
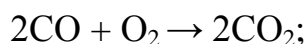


Рис. 10.20. Принципова схема підготовки водовугільної пульпи для газифікації за методом Техасо

Для стабілізації пульпи (запобігання випадіння твердих часток) до неї додають поверхнево-активні речовини (типу сульфанола).

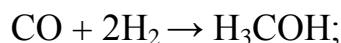
Головними напрямками використання генераторного газу є енергетичне та хімічне. За енергетичного компоненти генераторного газу використовуються як паливо на енергетичних установках:



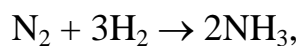


За хімічним напрямком генераторний газ може використовуватись для хімічних синтезів:

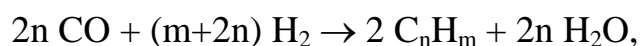
– метанолу:



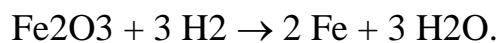
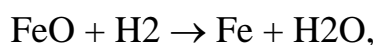
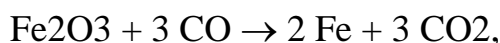
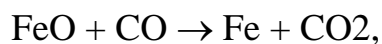
– аміаку:



– вуглеводнів за Фішером-Тропшем:



– пряме відновлення залізу в бездоменному процесі:



За використання генераторного газу в хімічних синтезах для його отримання застосовують, як правило, парокисневе дуття, за винятком випадків використання газу для синтезу аміаку, коли до газогенераторів подають суміш пари з повітрям, збагаченим киснем. За енергетичного використання тип дуття визначається техніко-економічними показниками та параметрами енергетичних установок.

Для країн, що мають обмежені власні ресурси рідких та газоподібних природних палив (а саме до них відноситься Україна), має певний інтерес **виробництво із синтез-газу моторних палив**. Прямий синтез вуглеводнів за Фішером-Тропшем в промислових масштабах освоєний лише південно-

африканською корпорацією Sasol. Реактори Sasol першого покоління мали стаціонарний шар каталізатору (залізного або кобальтового). Вони працювали під тиском до 2-3 МПа. Реактор останньої типової конструкції мав 2052 труби діаметром 46 мм та довжиною 12 м із загальним об'ємом каталізатору 40 м³ (рис. 10.21).

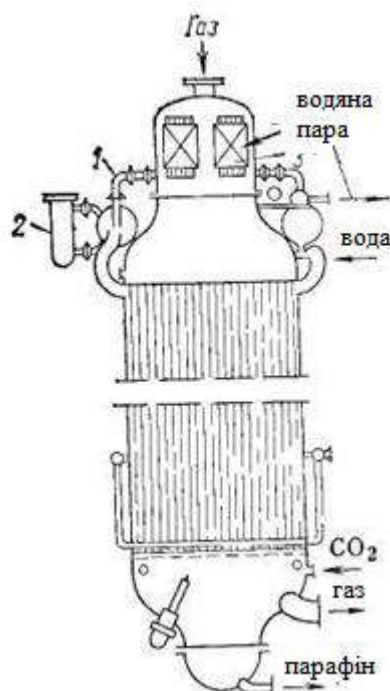


Рис. 10.21. Реактор Sasol із стаціонарним шаром каталізатору:
 1 – труба для виводу конденсату; 2 – регулятор подачі води;
 3 – підігрівач газу

Поверхня теплообміну для відведення надлишкового тепла – 230 м³ на 1000 м³ конвертованого синтез-газу. Температура процесу 200-215 °С, об'ємна швидкість – до 700 год⁻¹. Продуктивність за кінцевими продуктами (вуглеводнями) – 18 тис т/рік.

Установки Sasol останнього покоління мають реактори зі зваженим шаром порошковидного каталізатору (рис. 10.22).

Температура синтез-газу на вході до реактору 160 °С, тиск 2,2 МПа. До синтез-газу вводять потік каталізатору, нагрітого до 350 °С. У висхідному потоці газу та каталізатору відбувається швидке вирівнювання температури, що за синтезу підвищується. Частинки каталізатору та газ швидко транспортуються підйомною трубою діаметром 1 м до реактору діаметром 2 м. Там через значно нижчу лінійну швидкість газового потоку концентрація каталізатору підвищується.

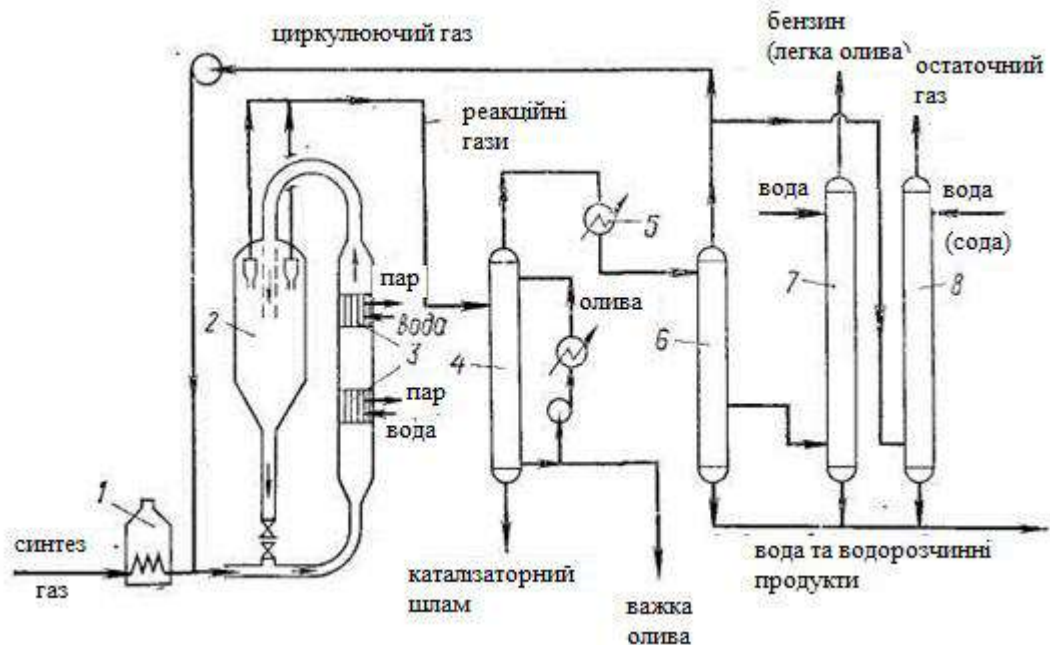


Рис. 10.22. Схема синтезу вуглеводнів з CO та H_2 в потоці зваженого порошкоподібного каталізатору:

1 – піч; 2 – реактор; 3 – холодильники; 4 – колона-сепаратор для промивання оливою; 5 – конденсатор; 6 – роздільна колона; 7 – колона для промивання отриманого бензину; 8 – колона для промивання газу

Це завантаження каталізатору підтримують сталим – за певним падінням тиску в нижній частині апарату (остання величина є контрольною для регулювання потоку каталізатору зі стояку крізь відповідний вентиль в його нижній частині). В реактор вмонтовані два холодильники для відведення виділеного тепла.

Газ та каталізатор рухаються прямотоком трубками холодильників. Внаслідок утилізації тепла отримують пару тиском 1,3 МПа в кількості близько 15 т/год. Каталізатор, продукти синтезу та залишковий газ виводять зверху реактору крізь дугоподібну трубу та спрямовують до колони-сепаратору. Газ послідовно проходить два циклони для відділення порошковидного каталізатору. Каталізатор заповнює стояк та нижню частину сепаратору. Для розпушування каталізатору та забезпечення повернення його на синтез до багатьох точок стояку підводять синтез-газ. В реакторі висотою 30 м циркулює 130-140 т каталізатору, тобто крізь поперечний переріз апарату проходить близько 6000 т/год каталізатору. Кількість вихідного синтез-газу, що подається до реактору, складає 90-100 тис m^3 /годину. Кінцевий вихід вуглеводнів – 30-35 % від органічної маси вугілля. Процес здійснюється на залізному каталізаторі за тиску 2,0-2,5 МПа. Головне

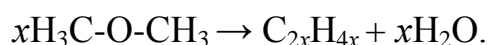
призначення установки – отримання автомобільного бензину з синтез-газу, отриманого за газифікації вугілля.

Також можливий непрямий синтез вуглеводнів – крізь метанол. Механізм перетворення метанолу на вуглеводні складається з двох стадій:

– утворення діметилового етеру:



– перетворення діметилового етеру на цеолітовому каталізаторі:



Зараз у світі на різних стадіях освоєння знаходяться три схеми отримання бензину з метанолу:

- двохступінчасте перетворення;
- одноступінчасте перетворення в кипучому шарі каталізатору;
- одноступінчасте перетворення в трубчастому реакторі із стаціонарним шаром каталізатору.

Найбільш відпрацьованим є процес компанії Mobil Oil (рис. 10.23).

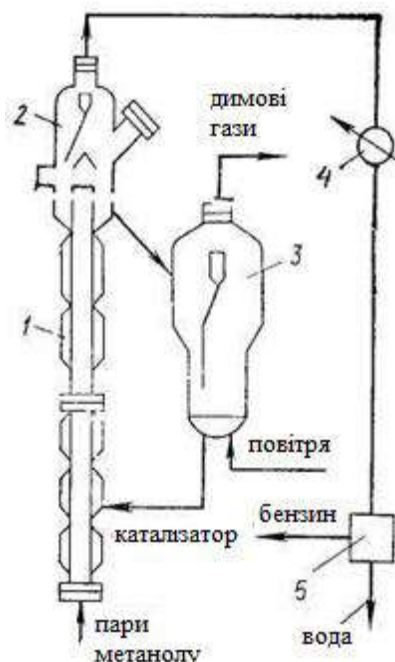


Рис. 10.23. Реакторний вузол синтезу бензину з метанолу:
1 – реактор; 2 – сепаратор для відділення каталізатору; 3 – регенератор; 4 – конденсатор; 5 – фазороздільник

Вихід вуглеводнів в цьому процесі становить 44 % від метанолу.

ДП «УХІН», ДП «ГИПРОКОКС» та Науково-дослідним і проектним інститутом хімічних технологій (м. Северодонецьк) на завдання Мінпромполітики України була розроблена техніко-економічна доповідь з питання створення на Баглійському КХЗ (нині ПрАТ «ЮЖКОКС») виробництва з газифікації вугілля потужністю за сировиною 2,3 млн т/рік з отриманням генераторного газу парокисневого дуття для наступного його використання в синтезі метанолу. Встановлено, що найперспективнішими для промислового впровадження в Україні є технології газифікації вугілля в стаціонарному шарі та водовугільної пульпи в потоці.

Газифікація бурого вугілля. Викладені вище основні технологічні принципи газифікації кам'яного вугілля справедливі і за переробки бурого вугілля. Загальні геологічні поклади такого вугілля за категоріями А + В + С₁ становлять 2,6 млрд т. Вони зосереджені в Дніпровському буровугільному басейні (центр – Олександрія Кіровоградської обл.), а також у Верхньодніпровському (Дніпропетровська обл.), Новодмитрівському (Харківська обл.) та інших родовищах. Їх видобуток зараз не ведеться. У ДП «УХІН» в 1993-1995 роках з метою визначення перспектив хіміко-технологічної переробки бурого вугілля в Україні виконане комплексне дослідження товарної продукції всіх працюючих на той час вуглевидобувних підприємств Дніпровського буровугільного басейну. Отримані при цьому результати наведені в табл. 10.3.

Все буре вугілля України є пухким та землистим. За висушування (наприклад, внаслідок зберігання) їх куски руйнуються з утворенням великої кількості пиловидних класів.

Технологічна схема отримання буровугільних брикетів для газифікації в щільному шарі наведена на рис. 10.24.

Вугілля з приймального бункеру 1 лопатевим живником 2 подається на збірний конвеєр, а потім на крильчасту дробарку 3 для попереднього грубого подрібнення. Після цього вугілля класифікується на грохотах 4, а потім подрібнюється в дробарці середнього подрібнення 5 (молотковій або валково-зубчастій) до розміру < 6 мм (м'яке землисте вугілля) або менше 3-4 мм (щільне тверде вугілля). В сушарці 4 (паровій трубчастій або газовій трубці-сушарці) вугілля нагрівається до 80-90 °С, при цьому вологість пухкого вугілля знижується до 18-19 %, а щільного – до 9-12 %.

На установці контрольної підготовки 7 з вугілля відсівають грубі зерна та додрібнюють їх. Після цього пухке вугілля надходить до охолоджувачу 8, а потім з температурою близько 40 °С – на брикетування в пресах 9. Щільне вугілля спеціально не охолоджують, а одразу спрямовують на пресування.

Таблиця 10.3 – Властивості бурого вугілля Дніпровського буровугільного басейну

Підприємство	W^r_b %	Технічний аналіз, %			Елементний склад, %				Показник відбиття вітриніту R^o , %	Петрографічний склад, %			Максимальна волого- ємність W^{daf}_{max} %	Вихід смоли напів- коксування T^{daf}_{sk} %
		A^d	V^{daf}	S^d_t	C^{daf}	H^{daf}	N^{daf}	O^{daf}_d		вітриніт (гумініт) Н	інертиніт І	ліптиніт L		
Розрізи:														
Бандурівський	49,3	23,9	57,9	3,76	67,6	5,7	0,6	21,1	0,32	85	4	11	50,1	16,6
Морозівський	45,2	23,0	60,4	3,70	69,6	6,1	0,6	19,0	0,32	86	5	9	45,5	20,0
Верболозівський	52,5	20,4	61,2	3,89	68,3	6,3	0,5	20,1	0,32	83	7	10	51,4	20,7
Протопоповський	48,7	24,7	59,6	4,27	69,6	6,0	0,6	18,3	0,31	85	5	10	50,5	20,1
Коростишевський	55,4	21,9	52,3	4,20	68,8	5,6	0,5	20,2	0,32	89	6	5	54,4	18,5
Костянтинівський	47,5	15,1	55,7	4,37	72,3	6,0	0,6	16,5	0,33	87	6	7	45,7	20,3
Шахти:														
Верболозівська	45,1	24,0	57,5	3,75	68,3	6,3	0,6	20,0	0,35	90	5	5	53,5	15,4
Ведмежоярська	45,9	22,8	51,0	3,74	69,8	6,6	0,5	18,6	0,31	88	6	6	50,8	24,1
Богачівська	52,4	23,6	51,1	5,27	67,3	5,5	0,6	20,4	0,33	86	7	7	52,4	18,7
Козацька	55,7	19,8	48,9	5,98	69,3	5,6	0,5	18,3	0,31	85	8	7	46,6	26,4
Новомиргородська	51,7	25,8	56,0	4,07	73,0	6,2	0,5	15,4	0,32	85	4	11	54,3	23,2

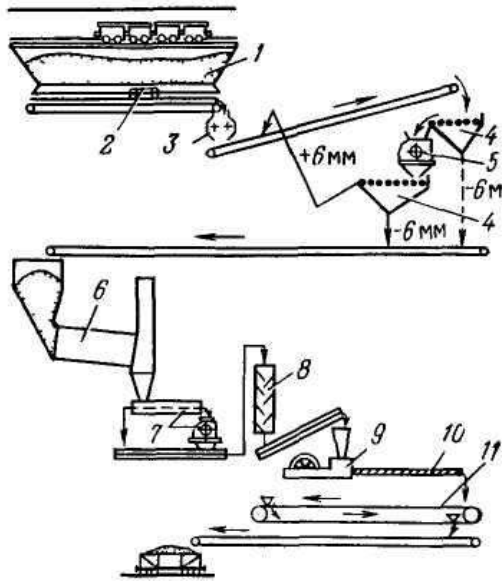


Рис. 10.24. Принципова схема отримання буровугільних брикетів для газифікації в щільному шарі

Його температура на вході до пресу внаслідок тепловтрат знижується до 70-80 °С. Після пресу брикети з м'якого вугілля з температурою 60-65 °С, а з твердого вугілля з температурою 75-85 °С охолоджуються в лотках 10, а потім на конвеєрі 11 до 35-45 °С, після чого спрямовуються на газифікацію.

Крильчасті дробарки застосовують для попереднього подрібнення грубих кусків вугілля з метою запобігання передчасного зносу стрічок та опорних роликів конвеєрів і полегшення роботи наступних механізмів. Схема улаштування дробарки подана на рис. 10.25.

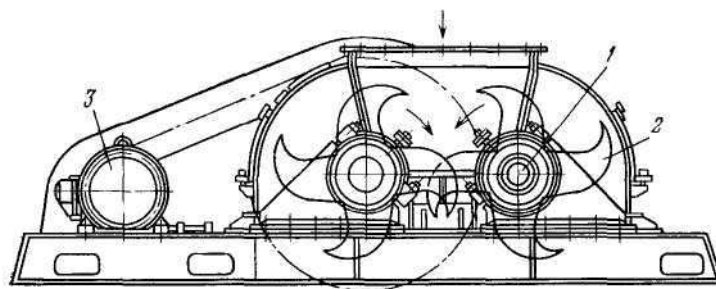


Рис. 10.25. Крильчата дробарка

Продуктивність типових крильчастих дробарок заводу Zetag (Німеччина) становить 360-800 т/год, при цьому зовнішній діаметр подрібнювальної лопаті 2 змінюється в межах 630-1000 мм, робоча ширина валку – 1250-1600 мм.

Кожен валок має незалежний електродвигун 3 потужністю 16-33 кВт. Максимальний розмір куску подрібненого вугілля – 200-250 мм.

Для сушки бурого вугілля найчастіше застосовують парові трубчасті сушарки (рис. 10.26) – циліндричні, похило розташовані обертальні барабани 1 діаметром 3-5 м та довжиною для типових сушарок 8 м.

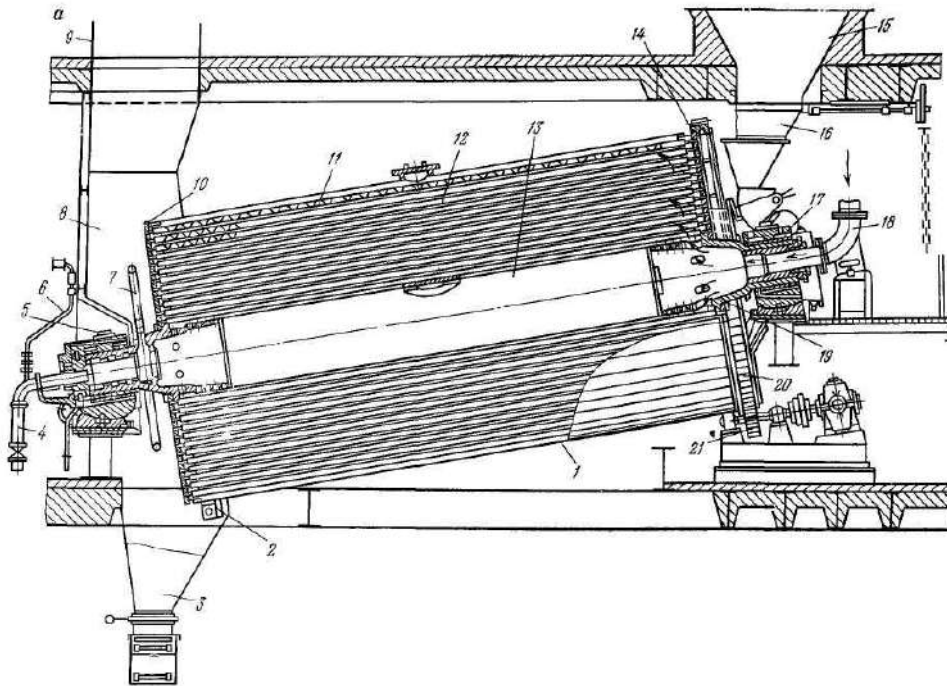


Рис. 10.26. Парова трубчаста сушарка

Торцями барабану закріплені трубчасті ґратки 2 та 3, до яких ввальцьовані сушарні трубки 4 внутрішнім діаметром 95-108 мм. Сушарні трубки розташовані в барабані за шістьма секторами, рівномірно за всією площею трубної ґратки.

Віссю барабану є центральна труба 5, кінці якої закріплені в муфтах 6, жорстко поєднаних з трубними ґратками. Муфти мають порожні цапфи, що обертаються в опорних підшипниках 7 та 8 з водоохолоджуваними корпусами. До передньої трубної ґратки кріпиться зубчастий вінець 9, за допомогою якого барабан обертається. Вінець знаходиться в зачепленні із зубчастою шестернею 10 приводу сушарки.

Пар тиском 0,3-0,5 МПа подають до сушарки за трубою 11, звідки крізь порожню цапфу він надходить до центральної труби 5, а звідти крізь отвори в центральній трубі – до міжтрубного простору сушарки, де нагріває сушарні трубки 4 та конденсується. Конденсат збирається в нижній частині барабану, потім надходить до конденсатозбірників 12, а з них за обертання барабану крізь S-видні трубки 13 та порожню цапфу безперервно відводиться трубою 14.

Подрібнене вугілля з бункеру 15 під дією сили тяжіння жолобом 16 з шиберним затвором надходить до завантажувального пристрою, що складається із завантажувальної камери та кількох похило розташованих одна над одною пластин, що з невеликим зазором примикають до передньої трубної ґратки. Вугілля з пластин ссипається на рухому трубну ґратку та засипається до трубок 4. Пластини мають нахил у бік зовнішнього ободу барабану, що у нижніх пластин сягає 40-45°. Це сприяє повнішому завантаженню периферійних трубок, що мають більшу окружну швидкість.

Кожна трубка має вставки 17 зі стрічкової сталі у вигляді спіралі з кроком, що зменшується у бік розвантаження. Це забезпечує краще заповнення низу трубок, де швидкість руху зменшується, а вологовіддача знижується. У верхній частині трубок на довжині 700-800 мм вставки відсутні, що покращує заповнення трубок при завантажуванні. Напрямок гвинта спіралі співпадає з напрямком обертання барабану з боку завантаження.

Нижній торець барабану охоплюється розвантажувальною камерою 18, що переходить знизу у збірну воронку 19, а нагорі – у витяжну трубу 20 з циклоном та/або електрофільтром для вловлювання вугільного пилу. Розрідження в розвантажувальній камері, створюване тягою витяжної труби – 40-80 Па. Конденсатопровід у верхній частині поєднаний з повітряником 21, крізь який з барабану виходить повітря за розігріву та засмоктується при зупинці сушарки.

Кут нахилу барабану 7-9°, частота обертання 6-10 об/хв, що забезпечує потрібний час перебування вугілля в сушарних трубках (20-25 хв). Для сушарок Zetap за збільшення діаметру барабану від 3 до 5 м продуктивність за підсушенням вугіллям зростає з 8,5 до 26 т/год, при цьому кількість гріючих трубок збільшується від 600 до 1581, поверхня нагріву – від 1325 до 4040 м². Маса сушарки зростає з 65 до 190 т, що потребує збільшення потужності електродвигуна з 10 до 22 кВт.

Головні переваги парових сушарок:

- висока ентальпія теплоносія (за рахунок прихованої теплоти пароутворення) та можливість його транспортування паропроводами на значні відстані;

- високий коефіцієнт тепловіддачі від пари, що конденсується;

- менша витрати тепла та електроенергії;

- простота експлуатації;

- надійність в роботі;

- зручність регулювання;

- пожежобезпечність.

Тому, незважаючи на підвищену металоємність, парові сушарки найширше застосовуються для сушки бурого вугілля.

У порівнянні з паровими сушарками труби-сушарки мають наступні переваги:

- конструктивна простота;
- нижчі капітальні витрати;
- вища продуктивність.

Їх недоліки:

- підвищена витрата електроенергії (15-16 кВт·год/т вугілля проти 3-5 кВт·год/т для парових сушарок);
- великий пилоуніс;
- необхідність застосування складнішого устаткування для пиловловлювання;
- підвищений абразивний знос, особливо в місцях повороту вуглегазового потоку;
- за зниження вологості бурого вугілля нижче 19-20 % в сушарці можливе виникнення спалаху та займання вугілля.

Труби-сушарки застосовують звичайно на установках невеликої продуктивності.

Буре вугілля брикетують без зв'язуючого внаслідок зовнішнього механічного впливу, а також сил поверхневої взаємодії вугільних зерен, зумовлених наявністю у вугіллі адсорбованої та капілярно пов'язаної вологи. Найширше застосовуються штемпельні преси (рис. 10.27). Брикетування здійснюють в прес-формах, розміщуваних в головці пресу. Пресувальний механізм слугує для перетворення обертального руху привідного валу на зворотно-поступальний рух штемпелю та передачу зусилля пресування на вугілля у формовочному каналі. Пресувальний механізм може бути кривошипно-шатунним або колінчасто-важельним. В останніх за однакової частоти обертання колінчастого валу швидкість руху штемпелю поблизу верхньої мертвої точки (наприкінці робочого ходу та на початку зворотного ходу) менша. Внаслідок цього час перебування під тиском за тієї ж продуктивності зростає більш ніж в 1,5 рази, що сприяє підвищенню міцності брикетів.

Однак колінчасто-важельні механізми складніші, довжина пресу збільшується, необхідна велика кількість шарнірних поєднань з підшипниками, вкладиші яких швидко зношуються через однобічні навантаження.

Тому кривошипно-шатунні штемпельні преси більш розповсюджені. Сучасні преси виготовляють спареними (двохштемпельними), за необхідності з них складають чотириштемпельні із загальним чотирьохколінчастим валом та маховиком.

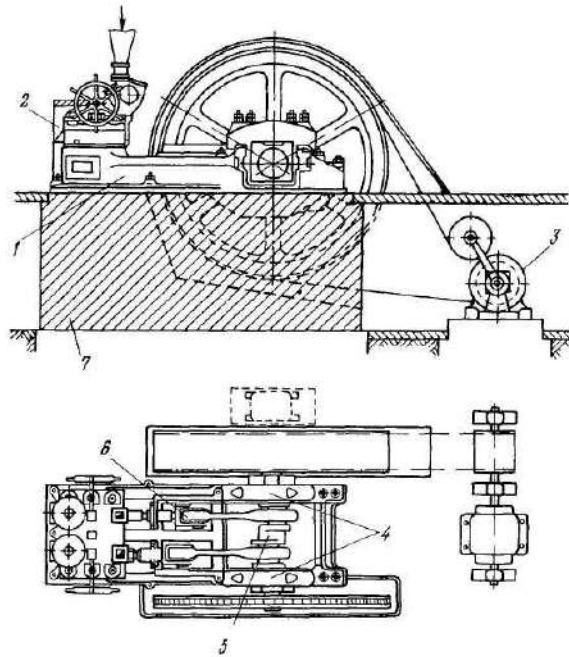


Рис. 10.27. Двохштемпельний кривошипно-шатуний прес:
 1 – станина, 2 – пресо́ва голівка; 3 – привід; 4 – корінні підшипники;
 5 – колінчастий вал; 6 – пресувальний механізм; 7 – фундамент

Двохштемпельні кривошипно-шату́ні преси Zetap за частоти обертання колінчастого валу 100 об/хв мають продуктивність 6,9-10,2 т/год, при цьому максимальне зусилля, розвинуте штемпелем, складає 2,45-2,94 МН, максимальний питомий тиск пресування зі збільшенням продуктивності знижується від 150 до 120 МПа. Ширина пресового каналу 182-210 мм, площа ударної поверхні штемпелю 115-170 см². Хід штемпелю – 220 мм. За форсування роботи частота обертання колінчастого валу може бути збільшена до 120 об/хв. Довжина пресу 10,4-10,7 м, ширина 4,5-7,6 м. Маса пресу без приводу 52-132 т. Потужність електродвигуна 200-300 кВт.

Кільцевий прес (рис. 10.28) дозволяє створювати більший тиск пресування (до 300 МПа), за інших рівних умов час перебування матеріалу в зоні високих тисків у порівнянні із штемпельними пресами збільшується, тому брикети отримуються міцнішими.

Витрата електроенергії в кільцевих пресах менша. Однак кільцевий прес складніший за конструкцією, в експлуатації потребує ретельнішого технічного обслуговування. Термін експлуатації формовочних деталей на малозольному бурому вугіллі становить 6-8 тис. годин, після чого їх необхідно перешліфувати та встановити в кільце або на диск з прокладками. За збільшення зольності вугілля термін експлуатації деталей ще менший. Тому кільцеві преси не отримали широкого розповсюдження.

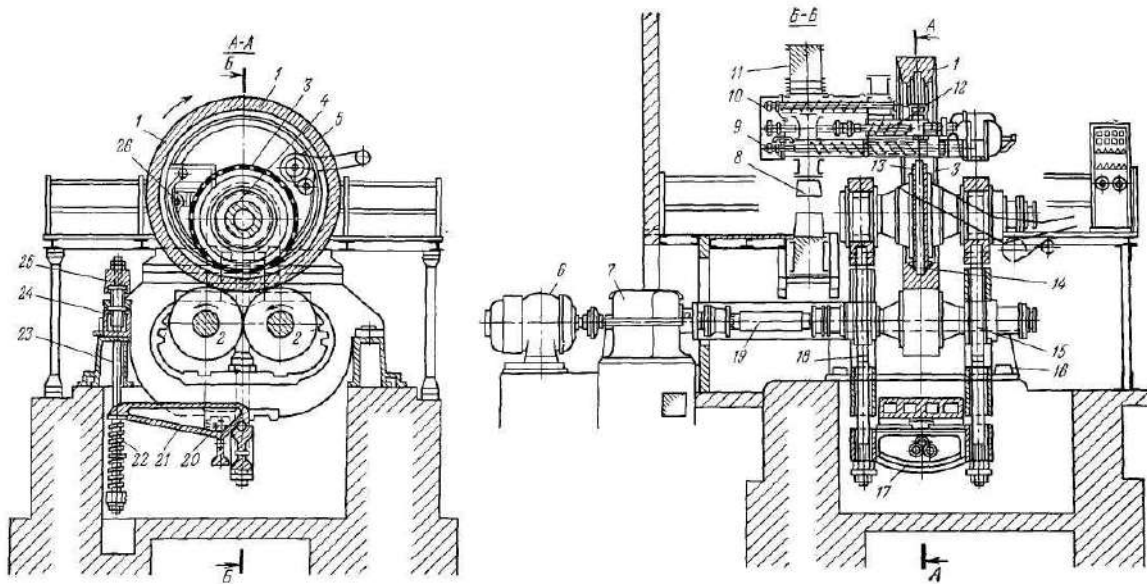


Рис. 10.28. Кільцевий прес:

1 – кільце; 2 – привідні ролики; 3 – пресувальний диск; 4 – вісь; 5 – ребро пресувального диску; 6 – пресові канали; 7 – тяги; 8, 13 – траверси; 9 – коромисло; 10 – шарнір; 11 – пакет пружин; 12 – стяжні болти; 14 – гідравлічний домкрат; 15 – відцентровий живник; 16, 20 – ланцюгові конвеєри; 17, 18, 19 – гвинтові конвеєри (шнеки); 21 – сферичні дворядні підшипники; 22 – станина; 23 – привід; 24 – редуктор; 25 – проміжні привідні вали; 26 – розвантажувальний пристрій

Головним чином їх застосовують для отримання брикетів з підвищеними вимогами за міцністю з малозольного бурого вугілля. Зокрема, в Німеччині кільцеві преси широко використовували при отриманні буровугільних брикетів для виробництва металургійного коксу.

За підготовки бурого вугілля до газифікації у кипучому шарі або в потоці дуття підсушене вугілля спрямовують на подрібнення. За газифікації в кипучому шарі подрібнення здійснюється в молоткових дробарках з виділенням потрібного класу крупності (обмеженого як за верхньою, так і за нижньою межами). Перед газифікацією в потоці вугілля подрібнюють до крупності менше 0,08-0,1 мм в кульових млинах. За газифікації водовугільної пульпи підготовка вугілля ще більше спрощується: через відсутність обмежень за вологістю. Його, аналогічно кам'яному вугіллю, достатньо подрібнити в кульових млинах мокрого подрібнення без попереднього підсушування. Однак при цьому через велику кількість води, що вноситься до реактору як з пульпою, так і з вологою вихідного вугілля (яка сягає 50 %) та не витрачається повністю в реакціях газифікації, водний цикл із дефіцитного стає надлишковим. Тому утворюється велика кількість стічних вод, які потребують очищення.

Технологічні параметри газифікації бурого вугілля визначають з урахуванням його властивостей. Зокрема, у порівнянні з газифікацією кам'яного вугілля витрата пари в складі дуття (або води на приготування пульпи) знижується на 0,2-0,6 т/т вугілля в залежності від його вологості. Через підвищений вміст в бурому вугіллі кисню його витрату в складі дуття також знижують на 100-110 м³/т вугілля. За використання пароповітряного дуття витрата повітря у порівнянні з газифікацією кам'яного вугілля менша на 480-520 м³/т. Вихід генераторного газу з робочої маси вугілля знижується пропорційно зростанню вологості та зольності палива. За газифікації в щільному шарі (де час перебування вугілля в зоні високих температур достатньо великий) за правильно підібраних витрат компонентів дуття в порівнянні з газифікацією кам'яного вугілля в газі дещо збільшується вміст метану та підвищується теплота спалювання газу, особливо отриманого за підвищеного тиску. Це зумовлене великим вмістом водню в бурому вугіллі. В табл. 10.4 наведені головні показники газифікації бурого вугілля за використання різних технологій.

Термоліз вугілля. Сутність технології полягає в газифікації твердого залишка, отриманого за нагріву малометаморфованого вугілля без доступу повітря до 600-700 °С в рухомому шарі в вертикальній печі безперервної дії. Сировиною для такого процесу є малометаморфване вугілля марок Б, Д та Г.

Експериментально встановлені наступні основні технологічні принципи термолізу:

– початкова стадія процесу (сушка вугілля) здійснюється безконтактним способом – крізь гріючу стінку з тим, щоб запобігти погіршенню якості виділених в камері термолізу парогазових продуктів парами води та відпрацьованим сушарним агентом (продуктами спалювання);

– кінцева температура стадії сушки – 110-150 °С за віссю засипу;

– температура гріючої поверхні у верхній частині камери – 500-600 °С;

– швидкість підйому температури в засипу після завершення сушки – 40-50 °С/год;

– кінцева температура за віссю засипу – 600-700 °С.

Для інтенсифікації термолізу бурого вугілля його необхідно попередньо підсушувати до вологості 19-21 % в окремих апаратах.

Вихід отримуваних продуктів та напрямки їх подальшого використання подані в табл. 10.5.

Таблиця 10.4 – Основні показники газифікації бурого вугілля

Показники та одиниці виміру	Щільний шар за Lurgi		Кипучий шар за Winkler, атмосфер- ний тиск	Вугілля в потоці за Koppers- Totzek, 2,0 МПа	Водову- гільна пульпа в потоці за Техасо, 4,0 МПа
	Атмос- ферний тиск	2,5 МПа			
Витрати:					
Повітря, м ³ /т	1400	-	-	-	-
Кисень, м ³ /т	-	500	340	500	400
Пара, т/т	0,35	0,40	0,40	0,08	-
Вода, м ³ /т	-	-	-	-	0,8
Вихід газу, м ³ /т (0 °С, 101,3 кПа)	2600	1350	1470	1530	1290
Склад газу, об. %:					
СН ₄	2,0	16	1	1	1
С _m Н _n	0,2	1	-	-	-
Н ₂	13,0	35	40	57	31
СО	30,0	13	33	29	54
СО ₂	5,0	33	25	12	12
О ₂	0,2	≤0,1	≤0,1	≤0,1	≤0,1
Н ₂	49,6	2	1	1	2
Нижча теплота спалювання газу, МДж/м ³	6,1	11,8	8,8	10,2	10,5
Вихід смоли, %	3,0	2,0	-	-	-
Кількість уносу, що повертається до реактору, % від маси вугілля	3	2	20	10	5

Таблиця 10.5 – Вихід та напрямки використання основних продуктів термолізу вугілля

Найменування продукту	Вихід, кг/т робочої маси вугілля	Напрямки використання
Твердий залишок	300...640	Замінник коксу для недоменого використання, енергетичне паливо, сировина для газифікації. За газифікації залишку на 1 т вихідного вугілля отримують: за пароповітряного дуття 1340-2230 м ³ газу для енергетичного використання з нижчою теплотою спалювання 5,03 МДж/м ³ , за парокисневого дуття 630-1040 м ³ газу для хімічного використання з нижчою теплотою спалювання 10,6 МДж/м ³ за об'ємного вмісту CO+H ₂ +CH ₄ не менше 80 %, а також 70-120 кг шлаку (будівельний матеріал, комплексне хімічне добриво для лужних ґрунтів)
Первинний газ, м	150...250	Енергетичне паливо, хімічна сировина
Первинна смола	30...45	Сировина для виробництва компонентів моторних палив, хімічної, парфумерної, фармацевтичної та інших галузей промисловості
Газовий бензин	16...40	Компонент моторних палив, хімічна сировина
Сульфат амонію	5...8	Мінеральне добриво
Феноли	30...40	Хімічна сировина
Сірчана кислота	50...90	Хімічна сировина

Вихід основних продуктів за термолізу з сухої маси вугілля визначається наступними рівняннями, отриманими шляхом обробки експериментальних даних:

– твердий продукт:

$$G_1 = 173,43 - 4,705V^d + 0,0476 (V^d)^2;$$

– первинний газ:

$$G_2 = -30,517 + 8,732\sqrt{V^d};$$

– первинна смола:

$$G_3 = -9,906 + 0,653 V^d - 0,00653 (V^d)^2;$$

– газовий бензин:

$$G_4 = 0,5796 + 0,02263 V^d - 0,0004509 (V^d)^2;$$

– аміак:

$$G_5 = 0,422 N^d;$$

– сірководень:

$$G_6 = 0,169 S_t^d;$$

– пірогенетична вода:

$$G_7 = -23,267 + 1,302V^d - 0,0144 (V^d)^2.$$

Принципова блок-схема процесу наведена на рис. 10.29.

Термоліз здійснюють у вертикальній печі безперервної дії, конструкція якої аналогічна печам із зовнішнім обігрівом, що застосовуються для напівкоксування вугілля, переробки горючих сланців, безперервного шарового коксування (див. § 11.1).

Специфічні властивості отриманого за термолізу твердого залишку – дрібнодисперсний склад, висока реакційна здатність та відносно невеликий вихід з вугілля зумовили розробку спеціальної технології його газифікації в обертальній печі. Матеріал на газифікацію надходить гарячим та хімічно взаємодіє в печі із пароповітряним або парокисневим дуттям. Піч встановлена під кутом 1-5° до горизонталі та обертається зі швидкістю 1-5 об/хв. Матеріал подають до реактору крізь верхню торцеву поверхню, звідти ж відводять отримуваний газ. Крізь нижню поверхню надходить дуття та відводиться зола. Таке рішення дає можливість переробляти сировину різної крупності з достатньо високою продуктивністю.

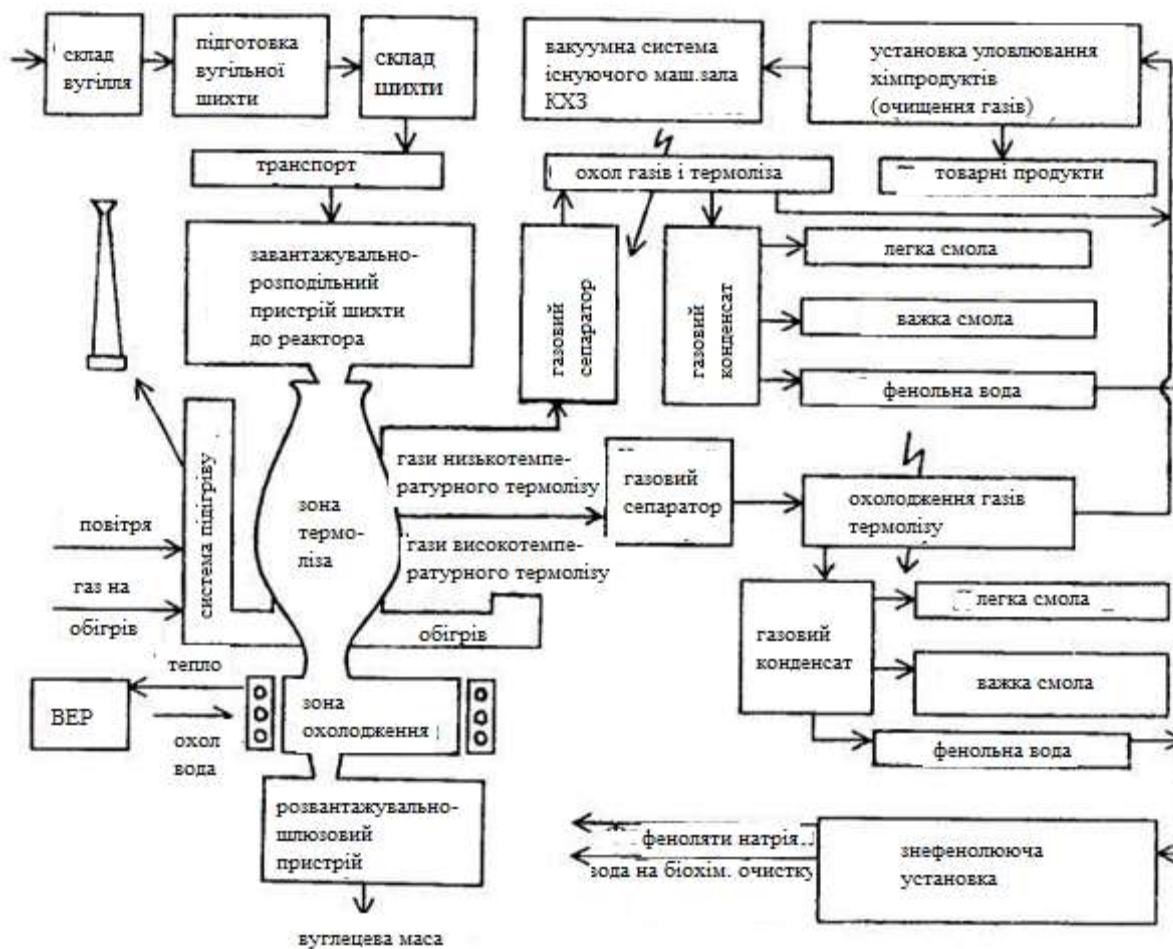


Рис. 10.29. Принципова блок-схема процесу термолізу малометаморфованого вугілля

На спеціально створеному лабораторному стенді досліджений взаємозв'язок технологічних параметрів газифікації з виходами та властивостями отримуваних продуктів, розроблені статистична та математична моделі процесу. Визначені раціональні конструктивні параметри барабанного газогенератору.

Розроблена технологія газифікації в барабанній печі відходів вуглезбагачення, в т.ч. у виробництві цементу. ДП «УХІН» та Національним університетом цивільного захисту ДСНС України розроблена методика, у відповідності з якою виконана оцінка змін якісного складу та пожежної безпеки генераторних газів в залежності від технологічних параметрів газифікації.

Дослідження з розробки технології термолізу проводили в ДП «УХІН» починаючи з 1993 р. Створений комплекс лабораторного устаткування для оцінки придатності вугілля для нової технології, визначення параметрів їх переробки, основні технічні рішення експериментально перевірені на півпромисловій установці безперервного шарового коксування Харківського КЗ.

Розроблене технологічне завдання на проектування дослідної установки продуктивністю 10 тис т сировини на рік. Виконані конструкторські та технологічні передпроектні проробки.

Перспективність процесу визначається в першу чергу тим, що це – єдина технологія, яка дозволяє в дві стадії (нагрів без доступу повітря до 600-700 °С та газифікація твердого залишку) практично повністю перевести органічну масу вугілля на парогазові продукти (в т.ч. малопіролізовані). Наразі в Україні єдиним джерелом отримання аналогічних продуктів є процеси переробки нафти і природного газу. Виходячи з потреби національного господарства в таких продуктах, максимальний обсяг переробки вугілля за технологією термолізу може скласти в Україні близько 20 млн т на рік.

10.3 Гідрогенізація вугілля

Гідрогенізація – це багатоступінчастий каталітичний процес зрідження вугілля за присутності водню та підвищеного тиску з отриманням синтетичних світлих нафтопродуктів. Одночасно утворюються побічні газоподібні продукти та твердофазний шлам. Сировина для гідрогенізації – важкі нафтопродукти, смоли, тверді палива. Досліджували також гідрогенізацію вугілля з метою отримання фенолів та ароматичних вуглеводнів для хімічного синтезу.

Серед твердих палив найкращою сировиною є сапропелітове вугілля (наприклад, Львівсько-Волинського басейну). За підвищеного тиску водню при температурі 380-400 °С за присутності розчинника таке вугілля достатньо легко деструктується, а продукти деструкції добре гідруються за 430 °С. В той же час частина органічної маси гумусового вугілля (лейптиніт та частина вітриніту) деструктують та гідруються одночасно, що ускладнює здійснення процесу. Решта органічної маси (інертиніт та залишок вітриніту) за вказаних умов не деструктують, а лише диспергуються, тому в подальшому практично не піддаються хімічним перетворенням та переходять до шламу.

Головні вимоги до вугілля для гідрогенізації: зольність сухої маси до 5,5 % для кам'яного вугілля та не більше 15,0 % для бурого вугілля; вихід летких речовин з горючої маси не менш ніж 35 %; вологість не більше 12 % для кам'яного та до 20 % для бурого вугілля.

Гідрогенізацію здійснюють в два етапи: спочатку в рідкій, а потім у парогазовій фазі. Це гетерогенний процес, тому для його інтенсифікації необхідне попереднє тонке подрібнення сировини (не більше 0,1 мм, в т.ч. до 0,05 мм – не менш ніж 70 %). Таке подрібнення здійснюється в пастовому млині (рис. 10.30).

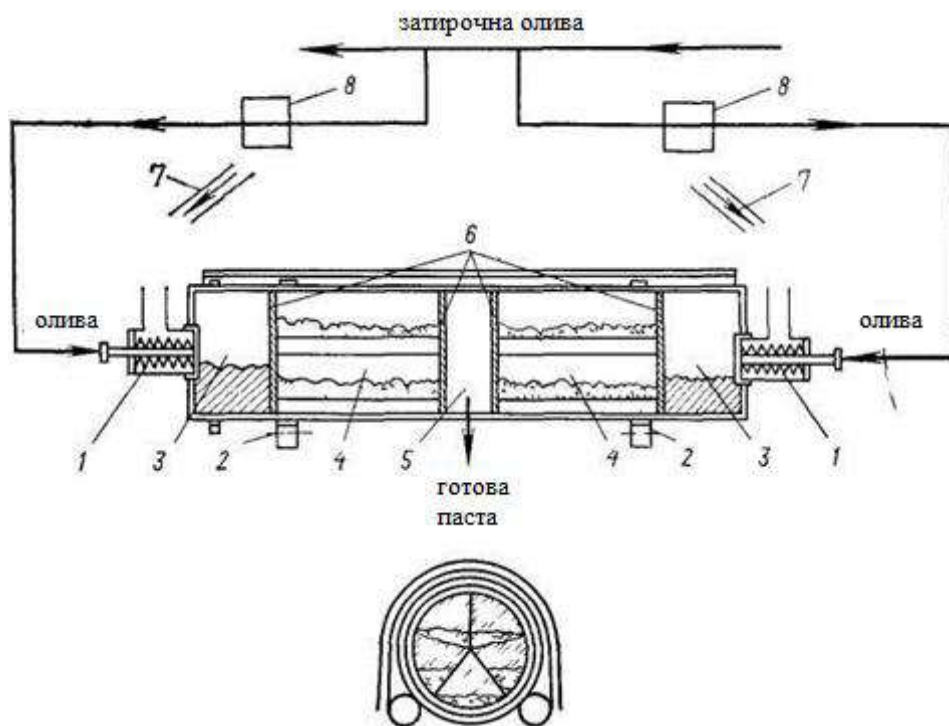


Рис. 10.30 Пастовий млин:

1 – шнек; 2 – витратоміри, 3, 4, 5 – відсіки; 6 – перегородки; 7 – опорні ролики

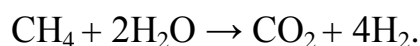
Одночасно з вугіллям крупністю менше 1 мм до млина подають залізний каталізатор, використовуваний на першій стадії гідрогенізації, з метою його рівномірного розподілу. Крім того, до млина подають затиральну оливу, що утворює з вугіллям транспортабельну пасту. Елементний склад оливи (%): С - 90-91; Н – 6,8-7,4; S≤0,1; N – 0,8-1,0; О – 1,0-1,2; його густина 1,1-1,3 т/м³; масова частка асфальтенів до 2 %; твердих речовин (зольністю до 35 %) – не більше 8 %; температура початку кипіння за 14 кПа ≥ 140 °С; відгін до 250 °С не більше 45 %; до 325 °С не більше 72 %.

У крайніх відсіках 3 пастового млина знаходиться 4 т сталевих куль діаметрами 34 мм, 40 мм та 50 мм для інтенсифікації перемішування вугілля з пастою. Головні процеси подрібнення відбуваються у середніх відсіках 4, де знаходиться 4 т сталевих циліндриків діаметром 18 мм та довжиною 20 мм. Центральний відсік 5, в якому накопичується та з якого відводиться готова паста, має мішалку та паровий обігрів для підтримання температури пасти не менш ніж 100 °С. Час перебування вугілля у млині 40 хв, його продуктивність при цьому складає: за кам'яним вугіллям 20-25 т/год, за бурим вугіллям 40 т/год; за пастою 55-60 м³/год.

Отримувана густа паста містить 50-53 % твердої фази (речовин, нерозчинних в бензолі), її густина 1,3-1,5 т/м³; зольність твердої фази 7,3-7,9 %. Густа паста є термодинамічно нестабільною колоїдною системою, після двох

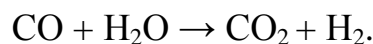
діб зберігання вона набухає та згущується. Для запобігання цьому частину пасти розводять до 40-42 % вмісту твердої фази затиральною оливою в турбозмішувачі (максимальна продуктивність 120 т/год, швидкість обертання мішалки 150 об/хв) з отриманням рідкої пасти.

Для гідрогенізації потрібний водень. Зараз в промисловості (для синтезу аміаку, гідроочищення нафтопродуктів тощо) його отримують головним чином конверсією метану природного газу:



Перспективними є наступні способи отримання водню:

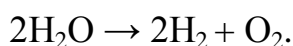
1) конверсія очищеного від сполук сірки генераторного газу, отримуваного за газифікації вугілля, за реакцією:



Конверсія відбувається на залізохромовому (за 450-500 °С) або цинк-хромом-мідному (за 200-300 °С) каталізаторі. Продукти реакції очищують від CO_2 ректизольним способом (метанолом за -30 °С);

2) виділення водню з коксового газу шляхом глибокого охолодження або короткоциклової адсорбції;

3) за наявності джерел дешевої електроенергії – електролізом води:



За рідкофазної гідрогенізації, як вже відзначалось, використовується залізний каталізатор (суміш сульфату FeSO_4 та оксиду FeO або гідроксид $\text{Fe}(\text{OH})_2$). Каталізатор газофазної гідрогенізації – вольфрамовий (25 % сульфід вольфраму WS_2 та нікелю NiS , осаджені на оксиді алюмінію Al_2O_3).

Схема рідкофазної гідрогенізації подана на рис. 10.31.

Пастовий насос 1 – горизонтальний циліндр з двох секцій з вмонтованим всередині рухомим плунжером. Тиск води для гідроприводу насосу – 6 МПа, надлишковий тиск відпрацьованої води – 0,08-0,1 МПа. Продуктивність насосу – 10-20 м³/годину рідкої пасти. Також можливе застосування триплунжерних насосів з паровим або електроприводом.

Перед надходженням до міжтрубного простору теплообмінника 5 рідка паста з температурою 100 °С змішується з циркулюючим газом та свіжим воднем у спеціальному пристрої 3.

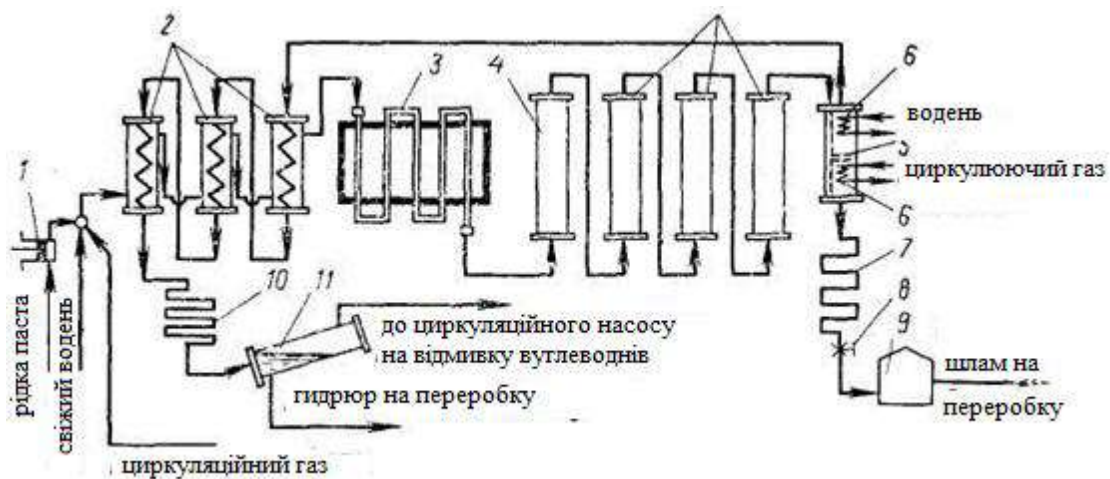


Рис. 10.31. Принципова схема рідкофазної гідрогенізації:

1 – пастовий млин; 2 – пастовий насос; 3 – змішувач; 4 – колона для відмивання циркуляційного газу від вуглеводнів; 5 – теплообмінники; 6 – холодильник «труба в трубі»; 7 – трубчаста піч; 8 – реактори; 9 – гарячий сепаратор; 10 – центрифуга; 11 – обертальна піч для напівкоксування шламу; 12 – дистилятор; 13 – холодний сепаратор; 14 – нагнітач циркуляційного газу

В теплообміннику суміш пасту та газу нагрівається до 350 °С парогазовими продуктами з гарячого сепаратору 9. Поверхня теплообмінника (рис. 10.32) 140-190 м², внутрішній діаметр корпусу 800 мм, висота 18 м, діаметр оцинкованих трубок 14/23 мм.

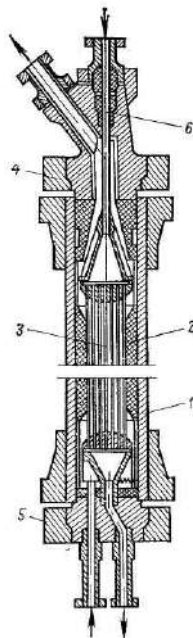


Рис. 10.32. Теплообмінник високого тиску:

1 – корпус; 2 – термоізоляція; 3 – трубчатка; 4 – верхня кришка; 5 – нижня кришка; 6 – сальникове ущільнення

Потім суміш рідкої пасти та газів, а також густа паста надходять до трубчастої печі 7 (з поверхнею нагріву 200 м²). Потім вони окремо нагріваються до 370 °С (рідка паста з газами в секції U-видних труб, густа паста в пастовій секції), та надходять до змішувальної секції, де нагріваються до 430-450 °С, а потім спрямовуються в першу з чотирьох послідовно розташованих реакційних колон 8.

Реакційна колона (рис. 10.33) – порожній циліндр висотою 18 м, внутрішнім діаметром 1 м зі стінками завтовшки 100-110 мм (для тиску 30 МПа) та 200 мм (для тиску 70 МПа).

Кришки колони ущільнені мідними прокладками 6. Корпус 1, фланці 2 та 4, кришки 3 та 5 реакційної колони, як і теплообміннику, футеровані діатомітом або азбоцементом. Для запобігання стирання футеровку 7 розміщують в стакані 8 зі спеціальної сталі з товщиною стінки 12-14 мм. Реакційний об'єм колони 9,0-9,5 м³. За гідрогенізації виділяється тепло, тому для підтримання в колонах температури 470-485 °С до них подають холодний циркулюючий водень. Найбільшу кількість його (до 60 % від загальної витрати) подають до першої колони, де тепловиділення максимальне.

З останньої реакційної колони 8 суміш продуктів реакції (т.зв. «гідрюр») надходить до гарячого сепаратору 9, в якому тверда та рідка фази відділяються від парогазової (рис. 10.34). Висота апарату 15 м, діаметр 1 м, товщина стінок 100-120 мм. Продукти реакції вводять до середньої частини апарату, де температура на 15-25 °С нижча, ніж в реакційній колоні, для запобігання закоксування. Забезпечення потрібної температури досягається шляхом введення до сепаратору холодного водню та розміщенням в ньому змішувальних теплообмінників для підігріву водню, який потім спрямовується на змішування з вихідною рідкою пастою.

Парогазові продукти з верхньої частини сепаратору 9 охолоджуються в теплообмінниках 5 (де нагрівають реакційну суміш) до 160 °С, а потім до 40-50 °С водою у внутрішній трубі протиточного холодильника високого тиску типу «труба в трубі» 6.

Рідка фаза з охолодженої суміші відділяється в холодному сепараторі 13 – порожній посудині діаметром 1 м та довжиною 6-8 м, встановленій під кутом до горизонталі 8-12°. Газова фаза з холодного сепаратору відмивається від вуглеводнів в колоні 4 та за допомогою циркуляційного нагнітача 14 повертається на установку як циркуляційний газ. Рідка фаза дроселюється в дві ступені (від 70 МПа до 2-3 МПа, а потім до 0,1 МПа). Виділені при цьому газу відводяться до різних газгольдерів, а потім – на переробку.

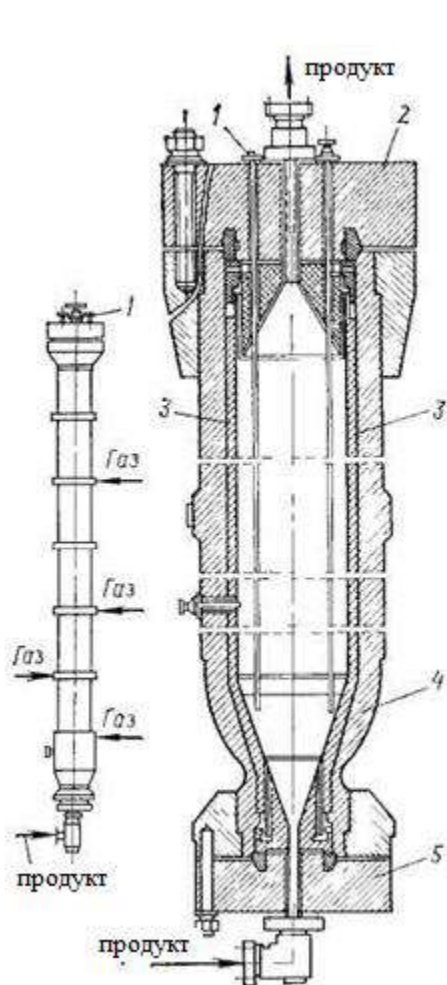


Рис. 10.33 Реакційна колона рідкофазної гідрогенізації:

- 1 – корпус; 2 – верхній фланець;
- 3 – нижній фланець; 4 – верхня кришка;
- 5 – нижня кришка; 6 – прокладки;
- 7 – футеровка; 8 – стакан; 9 – гільзи для термопар

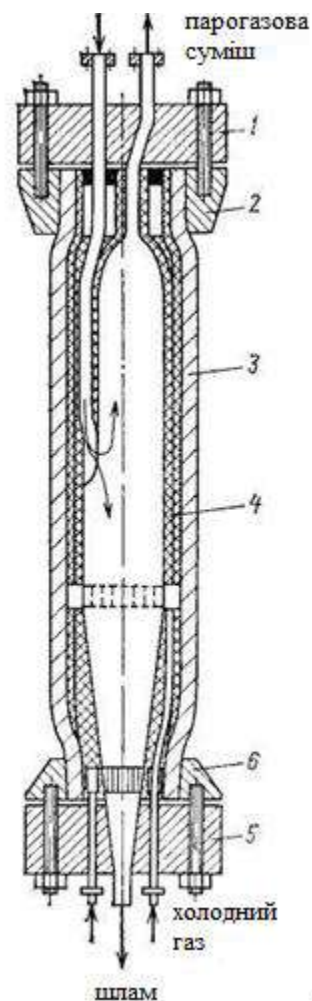


Рис. 10.34 Гарячий сепаратор високого тиску:

- 1 – верхня кришка; 2 – верхній фланець;
- 3 – корпус; 4 – термоізоляція; 5 – нижня кришка;
- 6 – нижній фланець

Рідка фаза після скидання тиску спрямовується на дистиляцію в колоні 12, де розділяється на бензин (кінець кипіння 150-190 °С в залежності від вимог до його властивостей), середню оливу (кінець кипіння 300 °С) та важку оливу.

Шлам з нижньої частини сепаратору 9 після охолодження та дроселювання разом з важкою оливою з дистиляційної колони 12 надходить до центрифуги 10. Відділений фугат як затиральна олива спрямовується на приготування вуглеоливної пасти. Залишок після центрифугування надходить до обертальної печі, де відбувається його напівкоксування. Виділені при цьому парогазові продукти додають до фугату (затиральної оливи), а напівкокс спрямовують на утилізацію.

Бензин та середня олива після дистиляційної колони 12 надходять на газофазну гідрогенізацію, здійснювану в дві стадії: спочатку попереднє гідрування, а потім – бензинування. Схема попереднього гідрування показана на рис. 10.35.

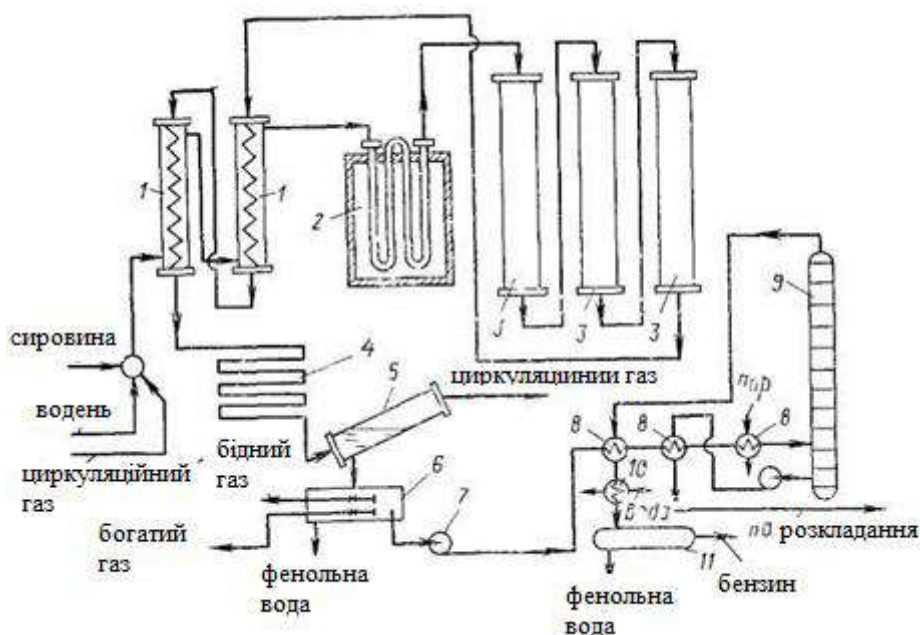
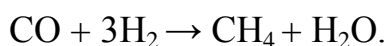


Рис. 10.35. Принципова схема попереднього гідрування

Сировина за допомогою насосів високого тиску подається для нагріву до двох послідовно сполучених теплообмінників 1, а потім – до трубчастої печі 2, звідки надходить на верх першої з трьох послідовно сполучених реакційних колон 3 висотою 18 м та діаметром 1 м (див. рис. 10.36). В середині кожної реакційної колони знаходиться 8 м³ вольфрамового каталізатору (циліндри довжиною та діаметром по 9 мм) в 7-8 контейнерах, дно в кожному з яких виконане з отворами діаметром 3-5 мм для виходу продуктів реакції, а на обечайках – щільові розподільчі пристрої для холодного газу.

Температура попереднього гідрування залежить від активності каталізатору та складає від 335 °С (на свіжому каталізаторі) до 445 °С (перед заміною каталізатору), тиск 20-30 МПа.

Температура в реакторі контролюється в кількох точках за висотою. Внаслідок екзотермічних процесів температура зростає на 50-70 °С. Тому нагрів сировини в трубчастій печі 2 потрібний лише для виводу реактору на робочий режим та компенсації теплових втрат. Концентрація СО в циркулюючому газі не має бути більшою 0,1 %, оскільки за більших концентрацій виникають місцеві перегріву через інтенсифікацію реакції метанування:



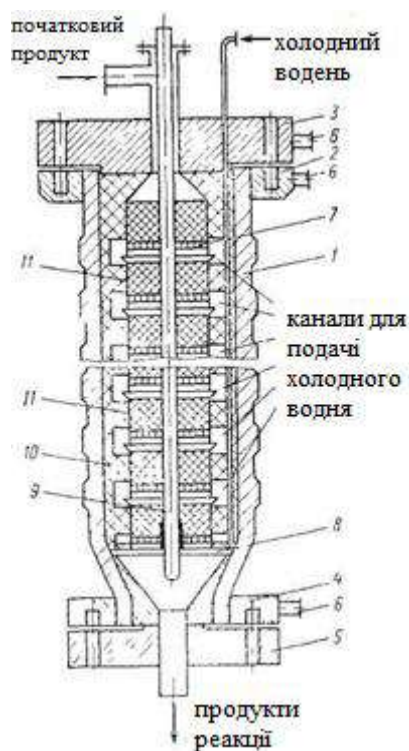


Рис. 10.36. Реакційна колона газофазної гідрогенізації:

1 – корпус; 2 – верхній фланець; 3 – верхня кришка; 4 – нижній фланець; 5 – нижня кришка; 6 – монтажні цапфи; 7 – тарілка; 8 – опорна решітка; 9 – термопарний карман; 10 – термоізоляція; 11 – захисна гільза

Продукти реакції з останньої колони 3 повертаються до теплообміннику 1, де нагрівають вихідну сировину, охолоджуються в холодильнику 4, відділяються від циркуляційного газу в сепараторі 5, дроселюються в пристрої 6 та насосом 7 крізь теплообмінники 8 спрямовуються на ректифікацію до колони 9. Пари води та бензину (кінець кипіння 160-200 °С) охолоджуються в теплообміннику 8, холодильнику 10 та розділяються в сепараторі 11. Конструкції та характеристики теплообмінників, трубчастої печі, сепаратору та холодильнику аналогічні тим, що застосовуються за рідкофазної гідрогенізації.

Основні технологічні параметри стадії: продуктивність за сировиною 16-18 т/год, витрата свіжого водню 4,0-4,5 % від сировини; об'ємна швидкість подачі 0,6-0,8 т/годину на 1 м³ реакційного об'єму; витрата циркуляційного газу – 2000 об'ємів на 1 об'єм сировини; кількість холодного газу 50-100 % від циркуляційного; витрата холодного газу \approx 25000 м³/годину; з цієї кількості 13-15 % подають перед першою колоною, 25-27 % до першої колони, по 30 % в другу та третю колони. Вихід гідрюру від сировини 94-97 %. Середня олива має температуру кінця кипіння 300-325 °С, містить не більш ніж 0,02 % фенолів та до 5 мг/дм³ азотистих основ в перерахунку на азот, анілінова точка не менше 50 °С. Ця олива може використовуватись як дизельне паливо, або переробляється на бензин, що дозволить збільшити вихід останнього в 1,5-2,0 рази.

За бензинування сірчистість сировини має бути не нижчою за 0,2 %, за меншої сірчистості падає активність вольфрамового каталізатору. Для запобігання цьому сировину насичують сірководнем або елементною сіркою. Схема стадії бензинування наведена на рис. 10.37.

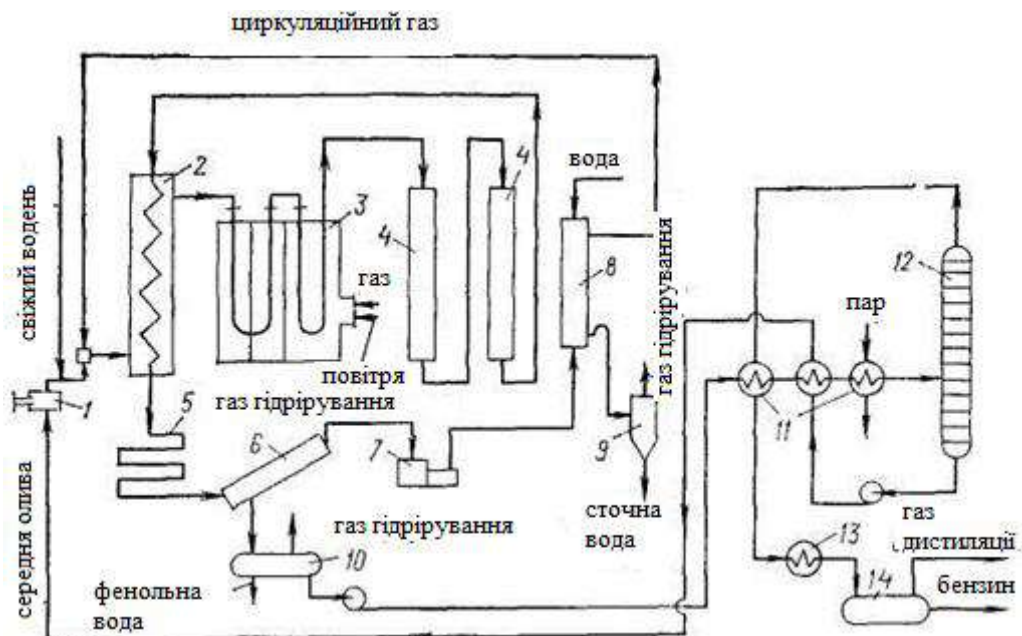


Рис. 10.37. Принципова схема бензинування

Середня олива насосом 1 подається на змішування з циркуляційним газом та свіжим воднем, а потім до міжтрубного простору теплообміннику 2, трубчасту піч 3 (з вертикальними ребристими трубами загальною поверхнею теплообміну 2000-2500 м²) та у верхню частину першої з двох послідовно встановлених реакційних колон 4. Температура в колонах 360-460 °С, тиск 23-25 МПа за переробки буровугільної сировини та 30 МПа за переробки кам'яновугільної сировини. З нижньої частини другої колони продукти реакції надходять на нагрів сировини до теплообміннику 2, охолоджуються в холодильнику 5, після чого розділяються в сепараторі 6. Газ гідрування компресором 7 спрямовується до водного промивача 8, а потім як циркуляційний газ змішується із сировиною. Вода після промивання надходить до дегазатору 9. Гідрор дроселюють в дві ступені в пристрої 10 до 3 МПа, підігрівають в теплообмінниках 11 та спрямовують на ректифікацію до колони 12. Відібраний з верхньої частини колони бензин віддає частину свого тепла гідрору в теплообміннику 11, додатково охолоджується в холодильнику 13, відділяється від газу та води в сепараторі 14, а потім надходить на очищення та стабілізацію. Середня олива з нижньої частини колони після охолодження в теплообмінниках 11 повертається до складу сировини.

Питома продуктивність реакційного об'єму колони 1 т/(м³·год.), що відповідає переробці в колоні 36 м³/год середньої оливи. Співвідношення між сировиною та рециркулятом 70:30, тобто продуктивність за свіжою сировиною 27-28 м³/год. Витрата циркулюючого газу 550-800 м³/м³ сировини (25-30 тис м³/год), свіжого водню 150-300 м³/м³ (6-12 тис м³/год). Вихід бензину становить 80-88 % від середньої оливи (20-22 м³/год). За отримання бензину з нижчою температурою кінця кипіння його вихід знижується.

Можливе також проведення газофазної гідрогенізації в одну стадію – за 70 МПа та 480 °С на комбінованому каталізаторі (0,6 % молібдену, 2 % хрому, 5 % цинку, решта – активований алюмосилікат). За об'ємної швидкості 0,8 т/(м³·год) глибина перетворення широкої фракції рідкофазної гідрогенізації складає близько 40 %. Каталізатор зберігає свою активність за присутності азотистих сполук. Однак бензин з температурою кінця кипіння 150-165 °С містить 48-60 % ароматичних вуглеводнів (за двостадійної газофазної гідрогенізації – 5 %), з них до 100 °С википає в середньому 57 % (за двостадійної газофазної гідрогенізації – 48 %). Зведені показники гідрогенізації вугілля наведені в табл. 10.6.

Таблиця 10.6 – Зведені показники гідрогенізації вугілля

Показники та одиниці виміру	На 1 т органічної маси вугілля:		На 1 т бензину з вугілля:	
	кам'яного	бурого	кам'яного	бурого
Вихід бензину (кінець кипіння 150 °С), кг	534,0	438,4	1000	1000
Витрата органічної маси вугілля, кг	1000	1000	1880	2280
Загальна витрата водню:				
кг	143,8	76,0	270	173
м ³	1615	856	3030	1960
В т. ч. на реакцію:				
кг	113,7	63,9	213	145,7-
м ³	1278	719,7	2400	1642
Загальний вихід газу, кг	325,8	447,6	610	1020

Головна кількість побічних газоподібних продуктів виділяється за рідкофазної та газофазної гідрогенізації при двоступінчастому дроселюванні гідруру. За гідрогенізації кам'яного вугілля більшу частину газу отримують за бензинування, а бурого – за рідкофазної гідрогенізації.

На першому ступені дроселювання виділяється «бідний» газ, основні компоненти якого водень, азот, оксид вуглецю, метан, а на другій стадії «багатий» газ, що містить етан, пропан, бутан, сірководень, діоксид вуглецю.

Ці гази очищують від сполук сірки, вуглекислого газу, а потім виділяють з них водень, проміжну фракцію паливного газу, метан-етанову суміш (з «бідного» газу) та етан, пропан, бутан, газовий бензин (з «багатого» газу).

Шлам, утворений за рідкофазної гідрогенізації, містить 20-25 % твердих речовин зольністю 40-50 %. Оливна частина містить 14-17 % асфальтенів. За атмосферного тиску до 325 °С википає 2-5 % шламу. За тиску 118 Па шлам починає кипіти за 160 °С, при цьому до 325 °С википає 55-58 %. Схема переробки шламу показана на рис. 10.38.

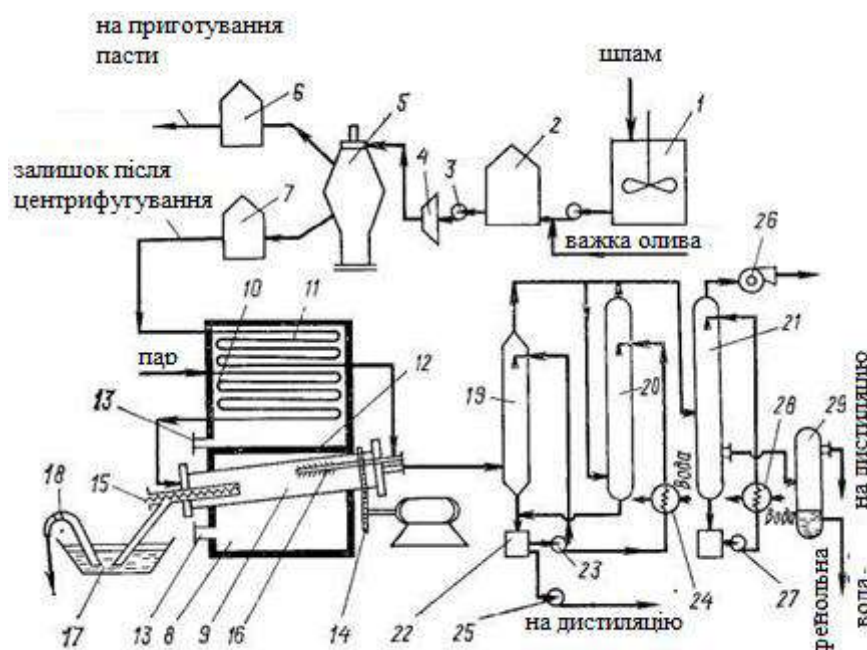


Рис. 10.38. Принципова схема переробки шламу

Шлам накопичується в збірнику 1 з мішалкою за температури 180-190 °С. Звідси його перекачують до змішувачу 2, куди вводять підігріту до 190-200 °С важку оливу (кінець кипіння 325 °С) з нижньої частини дистиляційної колони гідрую рідкофазної гідрогенізації. Додавання важкої оливи знижує концентрацію твердої фази в суміші до 12-16 %. Потім суміш насосом 3 крізь лічильник 4 з температурою 190 °С під тиском 0,1 МПа подають на центрифугу 5 продуктивністю 3 т/год, швидкістю обертання валу з 220 тарілками 2200 об/хв; потужністю двигуна 10 кВт. Олива з 6-9 % твердих речовин (70 % від кількості суміші, що подається) виводиться з верхньої частини центрифуги до збірника 6, а потім надходить на приготування пасти.

Осад із середньої частини центрифуги з 35-42 % твердих речовин відводиться до збірника 7, а потім підігрівається в змійовиках 11 до 320 °С та через спеціальну форсунку 16 подається в обертальну барабанну піч для напівкоксування 9, розміщену з нахилом близько 2° в нижній частині топкової камери 8. У верхній частині камери знаходяться змійовики 10 для перегріву пари та 11 для підігріву залишку від центрифугування, відділені від барабану вогнетривким перекриттям 12.

Температура зовнішньої поверхні печі 530 °С, внутрішньої 450 °С. Продуктивність печі 3,3 т шламу на годину, що відповідає 0,05-0,06 м³ шламу на годину на 1 м³ реакційного об'єму. Піч встановлена під кутом ~ 2° до горизонталі на опорних роликах діаметром 700 мм. Маса барабану 26 т. Його внутрішній простір розділений товстостінною металевую перегородкою з прорізами та отворами на верхню зону напівкоксування і нижню зону розвантаження. В зоні напівкоксування знаходиться 4500 хрестовидних чавунних тіл загальною масою 8 т, а в зоні розвантаження – 32 чавунних стрижні масою 5 кг кожний. Ці елементи призначені для інтенсифікації переміщення шламу та твердого залишку, а також очищення барабану.

Торці барабану крізь пройми в боковій вогнетривкій кладці печі виведені до зони низьких температур. В нижньому торці розміщений шнековий розвантажувальний пристрій 15, за допомогою якого твердий залишок потрапляє до заповненої водою ванни 17, яка одночасно виконує і функцію гідравлічного затвору, охолоджується та вивантажується скрібковим транспортером 18. Твердий залишок зольністю 40-70 % містить 1-2 % оливи та може використовуватись як енергетичне паливо або сировина для газифікації.

У верхній частині печі розташовані привід 14 (потужність 125-175 кВт) та канал для відведення парогазових продуктів до зрошувача оливою пиловіддільника 19, а потім на двоступінчасту конденсацію в скруберах 20 та 21. Олива, що містить тверду фазу, з нижньої частини пиловіддільника 19 крізь проміжний збірник 22 насосом 23 подається на зрошення пиловіддільника та (крізь холодильник 24) скрубера 20. Олива з нижньої частини скрубера 20 також відводиться до збірника 22. Надлишок оливи зі збірника 22 передається на дистиляцію.

Скрубер 21 зрошується оливою, що відводиться знизу скрубера за допомогою насоса 27 крізь холодильник 28. Газ зі скрубера газодувкою 26 (50-60 м³/т шламу, 17,5-26,1 МДж/м³) транспортується на спалювання. В нижній частині скрубера розташований перелив, крізь який надлишок рідкої фази відводиться до фазороздільника 29, з якого фенольна вода спрямовується на очищення, а олива (разом з оливою зі збірника 22) – на дистиляцію.

Отримуваний дистиллят повертають на газофазну гідрогенізацію, а кубовий залишок – як затиральну оливу на приготування вугільної пасти.

Переробка шламу – найбільш громіздкий та енергоємний вузол установки гідрогенізації. Для його спрощення намагались проводити напівкоксування шламу в реакторі з обертальним шнеком, розміщеним в нерухомому барабані, що знаходиться в топочній камері. Однак при цьому реакційний об'єм закоксувався, що призводило до поломок шнеку. Також випробували лабораторні установки напівкоксування шламу з використанням твердого теплоносія (чавунних куль) та екстракції оливи зі шламу органічними розчинниками, однак жоден з цих способів не отримав промислової реалізації.

Найширше в промислових масштабах гідрогенізацію вугілля використовували в 30-40-х р.р. ХХ ст. в Німеччині. Після 1945 р. кілька таких установок експлуатували в колишньому СРСР. Однак до 1960 р. всі вони були зупинені через початок освоєння нафтових родовищ Сибіру. Тим не менше, в зв'язку з практично безперервним зростанням цін на нафту та нафтопродукти, дослідження з гідрогенізації ведуться в більшості розвинутих країн. Так, за патентом компанії Еххон (США) для перетворення вуглецевих матеріалів на рідкі продукти їх переробляють за 315-540 °С та тиску 3,5-35 МПа з розчинником – донором водню за присутності воденьвмісного газу. Після цього відганяють фракцію з температурою кипіння 177 °С та видаляють центрифугуванням зольний залишок. Виділену фракцію піддають гідрокрекінгу за присутності водню та 2-20 % каталізатору, що може містити молібден, нікель, кобальт, мідь, свинець, паладій, олово.

В м. Касіма (Японія) побудована пілотна установка зрідження кам'яного вугілля продуктивністю 94,4 м³ рідкого палива на добу за технологією NEDOL. Процес зрідження йде за 400 °С та тиску 17 МПа. Отримуване рідке паливо (вихід 60 %) багате на легкі фракції та придатне для переробки в бензин, гас та дизельне паливо. Сировина – бітумінозне та суббітумінозне вугілля. В Китаї ведуться роботи зі створення аналогічної установки продуктивністю 150 т/добу.

В Національній лабораторії Oak Ridge Департаменту енергетики США розроблена технологія конверсії вугілля на рідке паливо з мінімальними витратами за допомогою ензимів, виділених бактеріями. Цьому ж присвячена і програма фундаментальних досліджень «мікробіологічне зрідження бурого вугілля» в Німеччині.

Контрольні запитання

1. В чому полягає сутність процесу напівкоксування твердих палив?
2. Як улаштована та працює тризонна вертикальна піч Lurgi з внутрішнім опаленням?
3. Як улаштована та працює тунельна піч для напівкоксування твердих палив?
4. В яких випадках для напівкоксування доцільно використовувати печі із зовнішнім опаленням?
5. Як улаштована та працює камерна піч для напівкоксування із зовнішнім опаленням?
6. Які зони виділяють за висотою камери печі напівкоксування із зовнішнім опаленням?
7. В чому полягає сутність напівкоксування із твердим теплоносієм?
8. Як улаштована та працює піч Борзіг-Гейсена?
9. Як улаштована та працює піч KSG для напівкоксування твердих палив?
10. Як улаштована та працює піч Koppers для напівкоксування із твердим теплоносієм?
11. В чому сутність технології напівкоксування Cogas?
12. В чому сутність технології напівкоксування Garret?
13. Які основні стадії комплексної енерготехнологічної переробки твердих палив?
14. Як здійснюють комплексну енергохімічну переробку горючих сланців?
15. В чому сутність процесу газифікації твердих палив?
16. Що таке ідеальні генераторні гази та які їх види використовують для аналізу процесів газифікації?
17. В чому відмінності реальних та ідеальних генераторних газів та чим вони зумовлені?
18. В чому полягають сучасні уявлення про кінетику газифікації?
19. В чому полягає сутність процесу газифікації в стаціонарному шарі за технологією Lurgi?
20. В чому полягають переваги та недоліки процесу газифікації в стаціонарному шарі за технологією Lurgi?
21. В чому полягає сутність процесу газифікації в кипучому шарі за технологією Winkler?
22. В чому полягають переваги та недоліки процесу газифікації в кипучому шарі за технологією Winkler?

23. В чому полягає сутність процесу газифікації вугілля в потоці за технологією Koppers-Totzek?
24. В чому полягають переваги та недоліки процесу газифікації вугілля в потоці за технологією Koppers-Totzek?
25. В чому полягає сутність процесу газифікації водовугільної пульпи в потоці за технологією Техасо?
26. В чому полягають переваги та недоліки процесу газифікації водовугільної пульпи в потоці за технологією Техасо?
27. В чому сутність процесу газифікації у фонтануючому кипучому шарі за технологією British Gas?
28. В чому сутність процесу газифікації вугілля у розплаві?
29. В чому полягає сутність, переваги та недоліки підземної газифікації вугілля?
30. Що таке шлакоутворювальна здатність палива та від чого вона залежить?
31. Яке значення для процесу газифікації мають показники технічного аналізу палива?
32. Якою має бути сировинна база процесів газифікації?
33. Як здійснюють підготовку вугілля до газифікації?
34. Які напрямки використання генераторних газів?
35. Як отримують моторні палива з вугілля за технологією Sasol?
36. Як отримують моторні палива з метанолу?
37. Які процеси газифікації є найбільш перспективними для промислового впровадження в Україні?
38. Де в Україні розміщені родовища бурого вугілля?
39. Як отримують буровугільні брикети?
40. Як улаштовані та працюють парові трубчасті сушарки?
41. Як улаштовані та працюють труби-сушарки?
42. Як подрібнюють буре вугілля?
43. Як улаштований та працює двохштемпельний кривошипно-шатульний прес?
44. Як улаштований та працює кільцевий прес?
45. Як готують буре вугілля до газифікації?
46. В чому полягає сутність технології термолізу малометаморфованого вугілля?
47. Які головні технологічні принципи термолізу малометаморфованого вугілля?
48. Які основні продукти отримують за термолізу малометаморфованого вугілля?

49. Які головні технологічні стадії термолізу малометаморфованого вугілля?
50. Як раціонально використовувати твердий залишок від термолізу малометаморфованого вугілля?
51. В чому полягають сутність та мета гідрогенізації вугілля?
52. Якою має бути сировинна база гідрогенізації вугілля та як готують сировину для процесу гідрогенізації?
53. Як отримують водень для гідрогенізації вугілля?
54. Які головні стадії гідрогенізації вугілля?
55. Як здійснюють рідкофазну гідрогенізацію?
56. Як здійснюють парофазну гідрогенізацію?
57. Навіщо потрібна стадія бензинування гідрюру та як її здійснюють?
58. Які показники одностадійного процесу газофазної гідрогенізації?
59. Як утворюється гідрогенізаційний шлам та як його переробляють?
60. В чому особливості технології гідрогенізації Exxon?
61. В чому особливості технології гідрогенізації NEDOL?

Перелік літератури до 10 розділу

1. Шульга И. В. Процессы термохимической переработки угля // Справочник коксохимика. 3-е изд. Т. 2. Производство кокса. Гл. 20 / И. В. Шульга. – Харьков: ИД ИНЖЭК, 2014. С. 689-725.
2. Тютюнников Ю. Б. Концепции современного естествознания / Ю. Б. Тютюнников, И. В. Шульга, Ю. Я. Филоненко, В. Ф. Чешко. – Харьков: ИД ИНЖЭК, 2005. – 400 с.
3. Тютюнников Ю. Б. Газификация твердых топлив / Ю. Б. Тютюнников, М. С. Шептовицкий, И. В. Шульга. – Харьков: ХГЭУ, 1994. – 64 с.
4. Тютюнников Ю. Б. Технологические схемы, расчет и моделирование промышленных установок газификации угля / Ю. Б. Тютюнников, М. С. Шептовицкий, И. В. Шульга. – Харьков: ХГЭУ, 1996. – 80 с.
5. Білець Д. Ю. Газифікація полідисперсних систем кам'яновугільного походження / Білець Д. Ю., Мірошніченко Д. В., Карножицький П. В. – Харків: НТУ ХПІ, 2021. – 136 с.
6. Шульга И. В. Химико-технологическая переработка углей различных регионов Украины / И. В. Шульга, Д. В. Мирошніченко, В. И. Рудька, А. А. Цымбал // Энерготехнологии и ресурсосбережение. 2019. № 3. С. 7–15.
7. Шульга И. В. Исследование получения синтез-газа для производства аммиака и метанола / И. В. Шульга, Г. И. Гринь, Д. С. Кутовой и др. // Вісник НТУ ХПІ. 2017. – № 49 (1270). – С. 86–93.

8. Шульга И.В. Развитие химико-технологических процессов переработки угля / И. В. Шульга // Углекимический журнал. 2015. – № 3. – С. 21 – 31.
9. Шульга И. В. Промышленность может сократить потребление импортного газа на 25 % за счет газификации угля // Дело. 03.02.2012 www.delo.ua/opinions/promyshlennost-mozhet-sokratit-potreblenie-importnogo-gaza.
10. Shulga I.V. Gasification of Wood Chipes / I. V. Shulga, O. I. Zelenskii, A. A. Vikhlyaev // Coke and Chemistry. 2012. – V. 55. – N 8. – P. 324-327.
11. Дроздник И. Д. Газификация отходов углеобогащения / И. Д. Дроздник, И. В. Шульга // Збагачення корисних копалин. Наук.-техн. зб. Дніпропетровськ. Нац. Гірн. Ун-т. 2010. – В. 40(81). – С. 32-40.
12. Ковалев Е. Т. Перспективные технологии химико-технологической переработки углей / Е. Т. Ковалев, И. В. Шульга // Углекимический журнал. 2010. – № 3-4. – С. 48–52.
13. Дроздник И. Д. О квалифицированном использовании малометаморфизованных углей / И. Д. Дроздник, И. В. Шульга // Сибирский уголь. 2009. – № 1–2. – С. 34–35.
14. Дроздник И. Д. О квалифицированном использовании малометаморфизованных углей / И. Д. Дроздник, И. В. Шульга // Збагачення корисних копалин. Наук.-техн. зб. Дніпропетровськ. Нац. Гірн. Ун-т. 2009. – В. 36(77). – С. 56–59.
15. Орлова В.Н. Предварительная оценка эффективности использования металлургических шлаков в процессе газификации угля / В. Н. Орлова, А. А. Ковбык, И. В. Шульга, Ю. М. Гулямов // Вопросы химии и химической технологии. – Днепропетровск: УГХТУ, 2008. – № 2. – С. 106 – 108.
16. Ковалев Е. Т. Анализ перспективных для Украины технологий производства из угля аналогов продуктов переработки нефти и природного газа / Е. Т. Ковалев, И. В. Шульга // Углекимический журнал. 2007. – № 1–2. – С. 37–43.
17. Шульга И. В. Новая технология комплексной химико-технологической переработки угля в непрерывном процессе / И. В. Шульга // Угольная теплоэнергетика: проблемы реабилитации и развития. Тр. Межд. Науч.-практ. конф. Вып. 1. – Киев – Алушта : Институт угольных энерготехнологий, 2004. – С. 49–51.
18. Шульга И. В. Подготовка бурого угля к процессу термоллиза / И. В. Шульга // Кокс и химия. 2002. – № 4. – С. 2–7.
19. Шульга И. В. Экономические аспекты технологии непрерывного термоллиза малометаморфизованных углей / И. В. Шульга, Е. И. Котляров, Л. Н. Дорошенко // Углекимический журнал. 2002. – № 5–6. – С. 42–46.

20. Шульга И. В. Технические решения для установки непрерывного термолиза малометаморфизованного угля / И. В. Шульга, А. Н. Силка, В. Л. Якушко и др. // Углекислотный журнал. 2002. – № 3–4. – С. 28–34.
21. Шульга И. В. Влияние свойств сырья на выход продуктов термолиза малометаморфизованных углей / И. В. Шульга // Кокс и химия. 2001. – № 7. – С. 2–5.
22. Шаршанов А. Я. Математическая модель процесса газификации углей в газогенераторах / А. Я. Шаршанов, Ю. В. Луценко, В. В. Олейник, И. В. Шульга // Углекислотный журнал. 2001. – № 3–4. – С. 33–40.
23. Шульга И. В. Оценка кинетических параметров газификации твердого продукта термолиза / И. В. Шульга, М. Г. Скляр, А. В. Васильев // Углекислотный журнал. 2001. – № 1–2. – С. 21–29.
24. Шульга И. В. Разработка рациональных конструктивных параметров газогенератора для углеродистых материалов / И. В. Шульга, А. В. Васильев, М. Г. Скляр // Углекислотный журнал. 2000. – № 3–4. – С. 19–21.
25. Kovalev E. T. Main trends of development of cokemaking facilities in Ukraine. View of UKhIN and Ukrkoks / E. T. Kovalev, M. G. Sklyar, I. V. Shulga, A. G. Starovoi // Cokemaking International. 2000. – N 2. – P. 63–64.
26. Шульга И. В. Новые технологические методы термохимической переработки твердых горючих ископаемых в работах УХИНа / И. В. Шульга // Углекислотный журнал. 2000. – № 1–2. – С. 31–35.
27. Шульга И. В. Взаимосвязь выхода продуктов термолиза со свойствами перерабатываемых углей / И. В. Шульга // Кокс и химия. 2000. – № 2. – С. 13–15.
28. Шульга И. В. Новая технология непрерывного термолиза малометаморфизованных углей / И. В. Шульга // Инф. листок ХарЦНТЭИ. 1999. – № 1.
29. Скляр М. Г. Оценка кинетических параметров процесса термолиза малометаморфизованных углей / М. Г. Скляр, И. В. Шульга, А. В. Васильев // Углекислотный журнал. 1999. – № 3–4. – С. 28–38.
30. Шульга И. В. Основные технологические принципы термолиза малометаморфизованных углей / И. В. Шульга // Углекислотный журнал. 1999. – № 1–2. – С. 21–29.
31. Скляр М. Г. Моделирование процесса газификации твердого продукта термолиза малометаморфизованных углей. Определение оптимальных параметров процесса / М. Г. Скляр, Е. В. Миненко, И. В. Шульга и др. // Кокс и химия. 1999. – № 6. – С. 8 – 12.
32. Кувшинов В. Е. Влияние технологических параметров газификации твердого материала термолиза малометаморфизованных углей на свойства

получаемых продуктов / В. Е. Кувшинов, И. В. Шульга, М. Г. Скляр, А. В. Васильев // Кокс и химия. 1999. – № 5. – С. 20–23.

33. Кувшинов В. Е. Влияние технологического режима полукоксования на свойства полукокса / В. Е. Кувшинов, М. Г. Скляр, И. В. Шульга и др. // Кокс и химия. 1999. – № 4. – С. 20–22.

34. Скляр М. Г. Лабораторный стенд для газификации углеродных материалов / М. Г. Скляр, И. В. Шульга, А. В. Васильев, В. Е. Кувшинов // Кокс и химия. 1999. – № 2. – С. 19–23.

35. Луценко Ю. В. Оценка изменения качественного состава и пожарной опасности генераторных газов в зависимости от технологических факторов / Ю. В. Луценко, И. В. Шульга, В. В. Олейник, И. Г. Деревянко // Проблемы пожарной безопасности. – Харьков : ХИПБ, 1998. – В. 3. – С. 129–132.

36. Бабушкин В. И. Эффективность использования отходов углеобогащения при обжиге цементного клинкера / В. И. Бабушкин, И. В. Шульга, В. И. Винниченко // Науковий вісник будівництва. Харків : ХДТУБА, ХОТВАБУ. 1998. – В. 2. – С. 128–130.

37. Бабушкин В. И. Утилизация отходов при производстве цемента – экологический путь ликвидации терриконов и отвалов / В. И. Бабушкин, А. Б. Здоров, И. В. Шульга, В. И. Винниченко // Цемент України. 1998. – № 2. – С. 27–28.

38. Бабушкин В. И. Повышение эффективности использования отходов углеобогащения при обжиге цементного клинкера / В. И. Бабушкин, В. И. Винниченко, И. В. Шульга // Уголь Украины. 1998. – № 4. – С. 48–49.

39. Скляр М. Г. Исследование свойств малометаморфизованных каменных углей Украины как сырья для непрерывного процесса термолитиза / М. Г. Скляр, И. В. Шульга, Ю. С. Кафтан и др. // Кокс и химия. 1998. – № 5. – С. 10–13.

40. Кувшинов В. Е. Новая технология непрерывного термолитиза малометаморфизованных углей. Ее экологические преимущества / В. Е. Кувшинов, М. Г. Скляр, И. В. Шульга и др. // Кокс и химия. 1997. – № 10. – С. 17–21.

41. Бабушкин В. И. Использование отходов углеобогащения при обжиге цементного клинкера / В. И. Бабушкин, В. И. Винниченко, И. В. Шульга и др. // Кокс и химия. 1997. – № 8. – С. 32–35.

42. Скляр М. Г. Комплексная химико-технологическая переработка угля на предприятиях корпорации «Сасол» (ЮАР). Перспективы реализации подобных процессов в Украине / М. Г. Скляр, И. В. Шульга, В. Е. Кувшинов // Кокс и химия. 1997. – № 6. – С. 23–28.

43. Шульга И. В. Исследование бурых углей Украины как сырья для нового непрерывного процесса термолиза с получением химических продуктов и газа / И. В. Шульга, М. Г. Скляр, В. Е. Кувшинов // Уголь Украины. 1995. – № 9. – С. 27–31.

44. Скляр М. Г. Исследование бурых углей Днепровского бассейна как сырья для комплексной химической переработки / М. Г. Скляр, И. В. Шульга, Ю. С. Кафтан и др. // Углекимический журнал. 1995. – № 3–4. – С. 3–10.

45. Скляр М. Г. Основні напрямки комплексної енергохімічної переробки вугілля України / М. Г. Скляр, І. В. Шульга, Г. М. Ахтирченко // Хімічна промисловість України. 1994. – № 1. – С. 17–25.

46. Шептовицкий М. С. Особенности процесса газификации в интервале температур 900-1050 °С и его влияние на свойства формованного и слоевого коксов / М. С. Шептовицкий, Э. И. Торяник, Н. И. Тучина, И. В. Шульга // Кокс и химия. 1986. – № 3. – С. 17–21.

47. Луценко Ю. В. Пристрій для експериментального визначення концентраційних меж розповсюдження полум'я генераторних газів / Ю. В. Луценко, І. В. Шульга, В. В. Олійник, І. Г. Дерев'яноко // Патент України на винахід № 31864. Бюл. Промислова власність. 2000. № 7-П.

48. Кувшинов В. Є. Пристрій для газифікації вуглецевого матеріалу / В. Є. Кувшинов, М. Г. Скляр, І. В. Шульга, О. В. Васильєв // Патент України на винахід № 23505. Бюл. Промислова власність. 1998. № 4.

49. Скляр М. Г. Спосіб переробки твердого палива / М. Г. Скляр, І. В. Шульга, В. Є. Кувшинов, Л. С. Максимов // Патент України на винахід № 23504. Бюл. Промислова власність. 1998. № 4.

50. Шульга И. В., Скляр М. Г. и др. Процесс газификации углей. Баглейский КХЗ. Технико-экономический доклад. НИР 18.94. Гос. рег. № 0395U005954. – Харьков: УХИН, 1994. – 61 с.

51. Скляр М. Г., Шульга И. В. и др. Исследование и разработка вариантов технических предложений по очистке газов применительно к системе газификации АШ Змиевской ГРЭС: отчет о НИР 110.93. – Харьков: УХИН, 1993. – 80 с.

52. Шульга И. В., Мирошниченко Д. В. и др. Разработка рекомендаций по сырьевой базе и технологии газификации энергетических каменных углей: отчет о НИР 231.2012. – Харьков: УХИН, 2012. – 48 с.

Список використаних джерел інформації до вступу

1. Лейбович Р. Е. Технология коксохимического производства / Р. Е. Лейбович, Е. И. Яковлева, А. Б. Филатов – Москва : Metallurgiya, 1982. – 340 с.
2. Ткачев В. С. Оборудование коксохимических заводов / Р. Е. Лейбович, Е. И. Яковлева, А. Б. Филатов. – Москва : Metallurgiya, 1983. – 360 с.
3. Непомнящий Л. И. Механическое оборудование и металлоконструкции коксовых батарей / Л. И. Непомнящий, Е. В. Дариенко, В. А. Бежин. – Донецк: Унитех, 2011. – 368 с.
4. ПТЕ-2017 Правила технічної експлуатації коксохімічних підприємств. – Харків: ДП «Гипрококс», 2018. – 283 с.
5. НАПБ 01.039-2001. Правила пожежної безпеки для коксохімічних виробництв. – Харків: Гипрококс, 2001. – 160 с.
6. НПАОП 27.1-1.10-07. Правила безпеки в газовому господарстві коксохімічних підприємств і виробництв. – Харків: Гипрококс, 2007. – 192 с.
7. СТ 8104. Перечень категорий производств по взрывопожарной и пожарной опасности, степени огнестойкости помещений, зданий и сооружений, классов зон помещений и наружных установок по ПУЭ. Коксохимическое производство. Справочник. – Харьков: Гипрококс, 2005. – 75 с.
8. СТ 8127. Инструкция по подготовке и безопасному проведению газоопасных работ на коксохимических предприятиях и производствах. – Харьков: Гипрококс, 2008. – 36 с.
9. Шульга І. В. Положення про технологічні регламенти для виробництва продукції на коксохімічних підприємствах / І. В. Шульга, О. Л. Борисенко. – Харків: ДП «УХІН», 2018. – 40 с.
10. Шульга І. В. Інструкція з розрахунку виробничої потужності коксохімічних підприємств та виробництв / І. В. Шульга, Л. П. Банніков. – Харків: ДП «УХІН», 2014. – 80 с.
11. Старовойт А. Г. Итоги работы коксохимических предприятий и производств Украины в 2018 г. / А. Г. Старовойт, С. Н. Фещенко. – Днепр: УНПА «Укркокс», 2019. – 73 с.
12. Справочник коксохимика. 3-е изд. Т.1. Угли для коксования. Обогащение углей. Подготовка углей к коксованию // Под общ. ред. Л. Н. Борисова, Ю. Г. Шаповала. – Харьков: ИД ИНЖЭК, 2010. – 536 с.
13. Справочник коксохимика. 3-е изд. Т.2. Производство кокса // Под общ. ред. В. И. Рудыки, Ю. Е. Зингермана. – Харьков: ИД ИНЖЭК, 2014. – 728 с.

Навчальне видання

ШУЛЬГА Ігор Володимирович,
кандидат технічних наук, доцент
МІРОШНИЧЕНКО Денис Вікторович,
доктор технічних наук, професор

**УСТАТКУВАННЯ ПІДПРИЄМСТВ З ПЕРЕРОБКИ
ТВЕРДИХ ПАЛЬНИХ КОПАЛИН**

Навчальний посібник для студентів спеціалізації
161 «Хімічні технології та інженерія»

Відповідальний за випуск – проф. Мірошніченко Д.В.

Роботу до видання рекомендував проф. Циганков О.В.

В авторській редакції

План 2022 р., поз.

Підписано до друку 22.08.2022.
Папір офсетний. Гарнітура Pt Serif
Умовн. друк. арк. 12,1. Умовн. фарбо-відб. 12,1
Термін придатності необмежений,
зберігати в сухому місці.

Видавництво «Крок»
Свідоцтво ДК No.3538 від 30.07.2009 року
вул. Гайова, 56, м. Тернопіль, Україна, 47722
info@krokbooks.com
KrokBooks.com

Розробник Видавничий центр НТУ «ХПІ»
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 5478 від 21.08.2017
61002, Харків, вул. Кирпичова, 2
