

Міністерство освіти і науки України

Запорізький національний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні

(назва факультету)

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

(повна назва кафедри)

*ав. університету*  
*[підпис]*  
*12.05.23*

## Пояснювальна записка

до кваліфікаційної бакалаврської роботи

рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

(перший (бакалаврський) рівень)

на тему Поліпшення умов праці робітників доменного виробництва

Виконала: студентка 5 курсу, групи ЦБ-18-1б3

Степанова А.І.

(ПІБ)

(підпис)

спеціальності

263 Цивільна безпека

(шифр і назва)

спеціалізація

(шифр і назва)

освітньо-професійна програма

Охорона праці

(шифр і назва)

Керівник Белоконь К.В.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Запоріжжя - 2023 року

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ  
ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки


Рівень вищої освіти перший бакалаврський рівень  
перший (бакалаврський) рівень

Спеціальність 263 Цивільна безпека  
(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма охорона праці  
(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри МТЕТБ

 Ю.О. Белоконь

" 17 " 04 2023 року

**ЗАВДАННЯ**  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЕКТ) СТУДЕНТУ

Степанова Аліна Ігорівна

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проєкта) Поліпшення умов праці робітників доменного виробництва

керівник роботи (проєкту) Белоконь Каріна Володимирівна, к.т.н., доцент  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від "29" 12 2022 року № 1894-с

2. Строк подання студентом роботи (проєкта) 19.05.2023

3. Вихідні дані до роботи (проєкта) карта умов праці на робочому місці горнового диварного двору

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Реферат. Вступ. Загальна частина. Технологічна частина. Розробка заходів з електробезпеки доменного цеху. Розробка заходів з пожежної безпеки доменного цеху. Висновки. Список використаних джерел.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)  
Презентаційний матеріал 11 слайдів (на 11 сторінках): титульний аркуш, розріз доменного цеху, розріз доменної печі, апаратурно-технологічна схема доменного процесу з позначенням шкідливих та небезпечних чинників, оцінка чинників виробничого середовища трудового процесу на робочому місці горнового ливарного двору, захист від теплового випромінювання, пристрій для придушення пилоутворення при зливанні чавуну в ківш, витяжний зонт над льоткою доменної печі, схема мережі з ТСНП, схема вуглекислотного пожежогасіння, висновки

### 6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата
		завдання прийняв
Загальна частина	Белоконь К.В., доцент	26.03.23
Технологічна частина	Белоконь К.В., доцент	09.04.23
Розробка заходів з електробезпеки доменного цеху	Белоконь К.В., доцент	16.04.23
Розробка заходів з пожежної безпеки доменного цеху	Белоконь К.В., доцент	23.04.23
Нормоконтроль	Белоконь Ю.О. завідувач кафедри	

7. Дата видачі завдання 29.12.2022

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примі
1	Вступ	15-21.03.2023	
2	Реферат	15-21.03.2023	
3	Загальна частина	20-26.03.2023	
4	Технологічна частина	27.03-09.04.2023	
4	Розробка заходів з електробезпеки доменного цеху	10-16.04.2023	
5	Розробка заходів з пожежної безпеки доменного цеху	17-23.04.2023	
6	Висновки	01-07.05.2023	

Студент

(підпис)

А.І. Степанова  
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

(підпис)

К.В. Белоконь  
(прізвище та ініціали)

## Реферат

Кваліфікаційна робота на тему «Поліпшення умов праці робітників доменного виробництва»: 80 стор., 6 табл., 9 рис., 30 джерел.

ТЕПЛОВЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ, ВИТЯЖНИЙ ЗОНТ, ЗАХИСНЕ ВІДКЛЮЧЕННЯ, ВУГЛЕКИСЛОТНЕ ПОЖЕЖОГАСІННЯ, ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА, ШУМ.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка заходів і засобів захисту від впливу шкідливих та небезпечних факторів виробничого середовища доменного виробництва.

Об'єкт дослідження – шкідливі та небезпечні чинники виробничого середовища доменного цеху.

Предмет дослідження – заходи і засоби захисту від впливу шкідливих та небезпечних виробничих чинників доменного цеху.

У кваліфікаційній роботі розглянуті потенційні небезпечні і шкідливі чинники виробничого середовища доменного цеху. Дана гігієнічна характеристика трудового процесу і оцінка чинників виробничого середовища робочого місця горнового ливарного двору. Виконані технічні рішення по виробничій санітарії, розроблені заходи щодо електробезпеки доменного цеху, протипожежні заходи і засоби гасіння пожеж.

Виконано розрахунки інтенсивності теплового випромінювання від відкритого жолоба, придушення пилових викидів з чавуновозного ковшу, витяжного зонту над льоткою доменної печі, захисного відключення, установки вуглекислотного пожежогасіння.

## ЗМІСТ

ВСТУП . . . . .	7
РОЗДІЛ 1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА . . . . .	9
1.1 Характеристика доменного цеху . . . . .	9
1.2 Характеристика доменного процесу . . . . .	13
РОЗДІЛ 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА . . . . .	24
2.1 Безпека технологічних процесів і обладнання . . . . .	24
2.2 Гігієна праці і виробнича санітарія . . . . .	29
2.2.1 Шкідливі чинники виробничого середовища в доменному цеху	29
2.2.2 Заходи захисту від шкідливих чинників . . . . .	32
2.2.3 Інженерна розробка заходів захисту від теплового випромінювання . . . . .	35
2.2.4 Природне і штучне освітлення . . . . .	38
2.2.5 Придушення пилових викидів з чавуновозного ковшу . . . . .	41
2.2.6 Розрахунок витяжного зонту над льоткою доменної печі . . . . .	45
2.2.7 Екологічна характеристика доменного виробництва . . . . .	49
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА ЗАХОДІВ З ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКИ ДОМЕННОГО ЦЕХУ . . . . .	55
3.1 Характеристика виробничих приміщень доменного цеху . . . . .	55
3.2 Характеристика електромережі для живлення виробничого устаткування . . . . .	56
3.3 Електроустаткування і електропроводка . . . . .	59
3.4 Захисне занулення . . . . .	61
3.5 Захисне відключення . . . . .	61
3.6 Електричне блокування . . . . .	65
РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА ЗАХОДІВ З ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ ДОМЕННОГО ЦЕХУ . . . . .	66
4.1 Характеристика доменного виробництва за пожежною небезпекою . . . . .	66

	6
4.2 Протипожежні заходи . . . . .	67
4.3 Засоби і способи гасіння пожеж . . . . .	70
4.4 Розрахунок установки вуглекислотного пожежогасіння .	72
ВИСНОВКИ . . . . .	76
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ . . . . .	78

## ВСТУП

Чорна металургія стала провідною галуззю промисловості України ще у перші десятиріччя радянської влади. У тридцятих роках двадцятого сторіччя йшло інтенсивне будівництво нових металургійних заводів – «Запоріжсталі», «Криворіжсталі», «Азовсталі» та реконструкція старих. Ці підприємства склали основу індустріальної могутності нашої держави.

Існують два принципово різних способу здобуття сталі: 1) руда → залізо (сталь) – прямий спосіб здобуття сталі; 2) руда → чавун (сплав заліза з вуглецем, вміст якого складає від 2,14 до 6,5 %) → сталь (сплав заліза з вуглецем, вміст якого не перевищує 2,14 %). Це так званий непрямий спосіб здобуття сталі. Здобуття заліза безпосередньо з руди нерентабельне із-за низької продуктивності, неекономічності, низької якості металу. Другий спосіб дає можливість здобуття відносно простих і дешевих процесів масового виробництва литого металу.

Двостадійний спосіб здобуття сталі є в даний час основним і включає два етапи виробництва: здобуття чавуну з руди за допомогою відновних процесів – доменне виробництво – і здобуття сталі з чавуну за допомогою процесів окислення – сталеплавильне виробництво.

Мета доменного виробництва полягає в здобутті чавуну із залізняку шляхом їх переробки в доменних печах.

Доменний цех є одним з основних цехів металургійного підприємства, його роль визначається не лише виробництвом чавуну, але і виробленням доменного газу, використовуваного як паливо. Окрім цього, доменний цех пов'язаний з допоміжними цехами підприємства як споживач їх продукції.

Доменний газ, що виходить через верхню частину печі, складається із С,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}_2$  і  $\text{N}_2$  і використовується для нагріву насадок повітрянагрівачів в доменному цеху, а також в мартенівських, прокатних, термічних цехах і для опалювання котлів теплоелектроцентралі. Вихід доменного газу досягає  $4000\text{м}^3$  на 1 т коксу, але він завжди забруднений пилом, який є сумішшю

дрібних часток руди, коксу, агломерату, вапняку і інших матеріалів, завантажуваних в доменну піч, тому дуже важливим є розробка та впровадження високоефективної системи очищення доменного газу [1].

Доменний цех – є джерелами шкідливих і небезпечних чинників виробничого процесу, які в тому або іншому ступені негативно діють або можуть відбитися в майбутньому на здоров'ї і загальному стані організму робочих цеху і населення. Тому головним завданням даної кваліфікаційної роботи є виявити основні небезпечні чинники виробничого процесу і розробити заходи щодо поліпшення умов праці обслуговуючого персоналу [2].



## РОЗДІЛ 1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

### 1.1 Характеристика доменного цеху

Доменний цех – цех з острівним розташуванням печей, обладнаних скіповими підіймачами. Для доменних цехів характерно розташування доменних печей у лінію і наявність роздільних потоків убирання чавуна і шлаку, причому потік убирання чавуна розташований з однієї сторони від лінії печей, а потік складання шлаку – з інший. Ряд залізничних колій, прокладених із боку бункерної естакади і підіймачів, служить для убирання шлаку і коксової дрібниці; ряд подовжніх шляхів із протилежної від печей сторони – для убирання чавуна і колошникового пилу. Характерною рисою острівного планування є те, що комплекс кожної доменної печі, у який входять печі, ливарне подвір'я, блок повітронагрівачів і постановочні шляхи для чавуна і шлаку, розташований під невеличким кутом ( $12 - 13^\circ$ ) до подовжньої осі цеху. Завдяки такому розташуванню з'являється можливість мати для кожної печі індивідуальні постановочні шляхи уздовж ливарних подвір'їв для чавуновозів і шлаковозів і переїзди з однієї сторони на іншу й обернено між сусідніми печами. Це забезпечує значно більш високу пропускну спроможність збиральних залізничних колій, істотне поліпшення маневреності поїздів, дозволяє встановлювати під випуск велике число колій [3].

Для убирання чавуна (транспортування чавуновозних ковшів у сталеплавильний цех або на розливальну машину) звичайно прокладають два збиральних (ходових) шляхи, що розташовуються уздовж ливарного подвір'я кожної печі; для убирання шлаку ковшами до грануляційних установок або на шлаковий відвал передбачають два збиральні ходових шляхи з з'їздами на два в кожного ливарного подвір'я постановочних шляху для шлакових колій. З ходових шляхів до кожного ливарного подвір'я відходить також тупиковий господарський шлях; шлях є проїзним.

Доменний цех має розташовану уздовж фронту печей загальну бункерну естакаду ( із рудними і коксовими бункерами), до якої в багатьох цехах, що раніше будувалися, примикає рудне подвір'я, що обслуговується кранами-перевантажниками. Загальною особливістю є розташування трубопроводів, що відводять газ, із протилежної від колошникового скіпового підймача сторони. Відповідно газоочисні апарати розташовують із протилежної від бункерної естакади і колошникового підйому сторони доменних печей і під сухим пиловловником грубого очищення газу прокладають залізничну колію для убирання пилу [4].

Блок повітрянагрівачів (розташовані на одному фундаменті в лінію повітрянагрівачі і димар) звичайно розташовують у печі уздовж постановочних шляхів для убирання чавуна і шлаку з протилежної від ливарного подвір'я сторони.

Для доменних печей обсягом 1719 та 1386 м<sup>3</sup> вибирають двоконусний засипний апарат із газощільними клапанами.

Великий конус у нього є розподільником шихти, газощільність забезпечується клапанами і малим конусом. При скіповій подачі застосовується реверсивний розподільник з електродвигуном потужністю 2-3 кВт. Завантаження здійснюється як у звичайних типових обертових розподільників, і проводиться через дві приймальні лійки по одній для кожного скіпа, що закриваються знизу газощільними клапанами. Останні відчиняються перед завантаженням матеріалів із скіпа і закриваються після висипання їх із приймальної лійки. Таким чином, диск і клапан із спеціальним гумовим сідлом, що ущільнює, уберігаються від псування падаючими матеріалами. Виготовляються вони з високоміцної легованої сталі. Матеріали, що висипаються з приймальної лійки, потрапляють в обертовий жолоб-розподільник із двома симетрично розташованими отворами в бічній стінці; жолоб підвішений на центральному трубчастому валі з насадженою циліндричною шестернею. Шестерня і жолоб підтримуються трьома верхніми, трьома нижніми і шістьма бічними

роликами. На верхній кришці камери малого конуса встановлений приводний механізм, за допомогою якого жолоб обертається або встановлюється на заданій позиції [3].

При системі з механізмами періодичної дії подача шихти здійснюється вагонами-вагами, що рухаються між бункерами і набирають матеріали в «кишені» - лійки за допомогою барабаних затворів «Орра». Шихта завантажується послідовно в кожен кишень вагонів-ваг за встановленою програмою з дотриманням суворої черговості паркана з бункерів з однойменним матеріалом. Після заповнення кишень шихта доставляється до скіпової ями і розвантажується через направляючі лотки у скіпи або проміжні бункера з затворами, керування яких входить у загальну схему автоблокування завантажувальної системи. У такий спосіб створюється резерв часу для набору матеріалів при наявності в запасі шихти для чергової подачі. Живлення вагонів-ваг електроенергією здійснюється через тролі, укріплені на стелі підбункерного приміщення. У підбункерному приміщенні між бункерами окремих печей робляться ремонтні площадки з установкою запасних вагонів-ваг (не менше одних на дві суміжні доменні печі). Під горловинами коксових бункерів (що мають листові засувки ручного приводу для їхнього перекриття на випадок ремонту бункерів) встановлюються грохоти для відсіву коксової дрібниці  $\leq 25$  мм з одночасним завантаженням відсіяного коксу у вагову лійку і далі в скіпи. Відсіяна дрібниця спеціальним малим скіповим підіймачем передається в збірний бункер і потім піддається просіванню на класи 25 - 40, 25 - 10, 10 - 0 мм. Клас 25 - 40 можна задавати в печі, дотримуючи встановлену періодичність завантаження, а фракції 25 - 10 (горішок) і 10-0 відвантажуються відповідно для феросплавної промисловості й агломераційного виробництва [4].

У зв'язку з роботою на комбінованому дутті і при високій температурі дуття вибирають фурменій устрій, розрахований на підвищену стійкість. Головною його особливістю є масивний мідний носок товщиною до 90мм, призначений для гасіння теплових зосереджених впливів рідких мас чавуна.

Верхня половинка носку наплавлена сормайтом для захисту від стирання його коксом, що циркулює у фурменій зоні. Нижня половина носку має скіс під кутом  $170^\circ$ , що охороняє спід фурми від улучення на неї рідких продуктів плавки. Нахил осі дуттевого каналу щодо осі фурми  $2 - 3^\circ$ . Носова (торцева) частина фурми відділена від загальної порожнини сталеву кільцевою перегородкою, що має насподі проріз, через який вода з торцевої частини переходить у загальну порожнину після омивання носка. Швидкість води в носовій частині складає 4-5, у загальній порожнині 0,3-0,4 м/с. Носова порожнина фурми має перемінний перетин для прискореного витікання води, що попереджає утворення пухирців пару і плівкового кипіння.

У доменному цеху поворотні жолоба розташовані на чавунній стороні, а хитні – на шлаковій. Поворотний жолоб із нижньою роликовою доріжкою, зварної конструкції роблять з листового металу товщиною 12 мм у бічних гранях і 16 мм у днище, а потім футерують вогнетривкою цеглиною.

Жолоб устанавлюють на поворотній рамі, віссю повороту якої служить шарнірна опора-п'ята з двома радіально-упорними підшипниками. Корпус п'яти роблять із сталі 35Л. Друга опора жолоба – роликова доріжка – складається із шести роликів, на які спирається башмак, жорстко прикріплений до вертикальної рами жолоба. Поворот його здійснюється кривошипно-шатунним приводом від електродвигуна через редуктор і тягу товщиною 100 см, що з'єднує вісь п'яти з опорними листами жолоба. Керування жолобами дистанційне і має запасний ручний привід на випадок аварійного знеструмлення.

Хитний жолоб встановлюється в колісці, привід жолоба кривошипно-шатунний; керування централізоване. Для збільшення корисної площі насадки, можливості збільшення теплової потужності повітронагрівача і попередження при цьому різноманітних деформацій вибирають на доменні печі повітронагрівачі системи Калугіна (ПНК).

Газ спалюється у пальниковому пристрої форкамерного типу із струминно-вихровою подачею газу і повітря, розташованому зверху купола

по вісі повітронагрівача. Кольцові колектори газу і повітря розташовані усередині кладки форкамери, а сама кладка форкамери ПНК має незалежну опору на кожух. Цей вид повітронагрівачів має велику перевагу, значно підвищуючи нагрів дуття при тих самих розмірах кожуха повітронагрівача і при збільшенні тривкості його футерівки [3].

У останні роки має широке поширення устаткування для використання енергії колошникового газу високого тиску, не використаної в звичайних умовах, що значною мірою компенсує витрати на компресію дуття і знижує собівартість чавуна. Для цього в доменному цеху на печах установлюють газові утилізаційні безкомпресорні турбіни потужністю в 12000 кВт (ГУБТ-12). Собівартість електроенергії отриманої на ГУБТ, у 3-3,5 разів менше собівартості електроенергії від центральної енергосистеми. Термін окупності цієї установки складає менше двох років.

## **1.2 Характеристика доменного процесу**

Вихідною сировиною для виплавки чавуну служать агломерат, залізняк, кокс, вапняк, марганцева руда і інші добавки. Шихтові матеріали поступають на рудний двір, де і зберігаються. З рудного двору сировина подається в підбункерні приміщення кожної печі, де відбувається його дозування і вантаження до скіпів для завантаження в доменну піч. На сучасних доменних печах дозування шихти вагон-вагами замінене конвеєрною автоматизованою системою, що включає бункери і комплекс механізмів для набору, дозування по вазі і завантаження агломерату, коксу і добавок [4].

Завантаження матеріалів в печі здійснюється за допомогою конусних засипних пристроїв з розподільниками шихти, що обертаються. Вони можуть бути двоконусними або трьохконусними. На сучасних підприємствах завантаження печі виробляється безконусним завантажувальним пристроєм лоткового типу.

Нагрів і плавлення шихти робиться за рахунок горіння коксу і природного газу, який вдувається в горн печі через розташовані по колу печі фурми високого тиску. Вдування природного газу здійснюється за допомогою дуттєвого повітря, що подається турбоповітродувками ТЕЦ. Для розвинення високої температури в горні доменної печі (2100...2150°C) повітря перед подачею у фурму підігрівається у повітронагрівачах до 1000...1200°C. Потужний тепловий потік рухається із зони горна вгору, назустріч шихті, що опускається, яка, дійшовши до поду, повністю розплавляється.

Доменний процес є сукупністю механічних, фізичних і фізико-хімічних явищ, що протікають в працюючій доменній печі.

Доменний процес є відновлювально-окислювальним, проте, його прийнято називати відновним, оскільки мета його полягає у відновленні оксидів заліза до металу.

Агрегатом для здійснення доменного процесу служить піч шахтного типу. Внутрішній контур робочого простору печі (профіль печі) залежно від геометричної форми і технічного призначення ділиться на п'ять частин: колошник, шахту, розпар, заплечики, горн. У горні розташовуються повітряні фурми і льотки для випуску чавуну і шлаку.

Стінки робочого простору печі роблять з вогнетривких матеріалів. Застосовують шамотну, високоглиноземисту цеглину і вуглецеві блоки.

Піч встановлюють на фундамент, що складається з двох частин: нижньою, підземною, званою підшоною, і верхньою, званою пнев. Над фундаментом розташовується під, виконаний з вуглецевих блоків.

Над колошником знаходиться колошниковий пристрій, що служить для підтримки комплексу механізмів, призначених для завантаження шихти в доменну піч, відведення газу і монтажних робіт.

Найважливішою умовою здійснення доменного процесу в робочому просторі печі є безперервний зустрічний рух і взаємодія шихтових матеріалів, що опускаються (залізної і марганцевої руди, агломерату,

вапняку, металодобавок, окатишів, коксу), які завантажуються в піч через колошник скіпами або транспортерами, і висхідного потоку газів, що утворюються в горні печі при горінні вуглецю коксу в нагрітому до 1000...1200°C повітрі (дуття). Дуття нагнітається у верхню частину горна через фурми. До дуття може додаватися технічний кисень, природний газ, водяна пара [4].

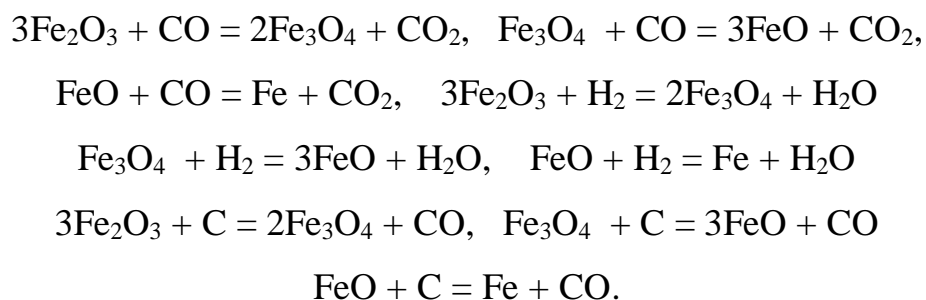
Кокс поступає в горн нагрітим до 1400...1500°C. У зонах горіння вуглець коксу взаємодіє з киснем дуття, утворюючи діоксид вуглецю, який нестійкий унаслідок високої температури і надлишку вуглецю і перетворюється на оксид вуглецю:



Таким чином, за межами зон горіння, горновий газ складається з оксиду вуглецю, азоту, невеликої кількості водню, що утворився при розкладанні водяної пари або природного газу. Суміш цих газів, нагріта до 1800...2000°C піднімається вгору і передає тепло матеріалам, що постійно опускаються в горн унаслідок вигорання коксу, утворення чавуну і шлаку і періодичного випуску їх з доменної печі. В процесі нагріву матеріалів, що опускаються, відбувається видалення з них вологи і летких речовин коксу і розкладання карбонатів.

Схема доменного виробництва представлена на рис. 1.1.

Оксиди заліза під дією відновних газів CO і H<sub>2</sub>, а при температурі вище 1000°C і твердого вуглецю коксу, поступово переходять від вищих ступенів окислення до нижчих, а потім в металеве залізо за схемою:



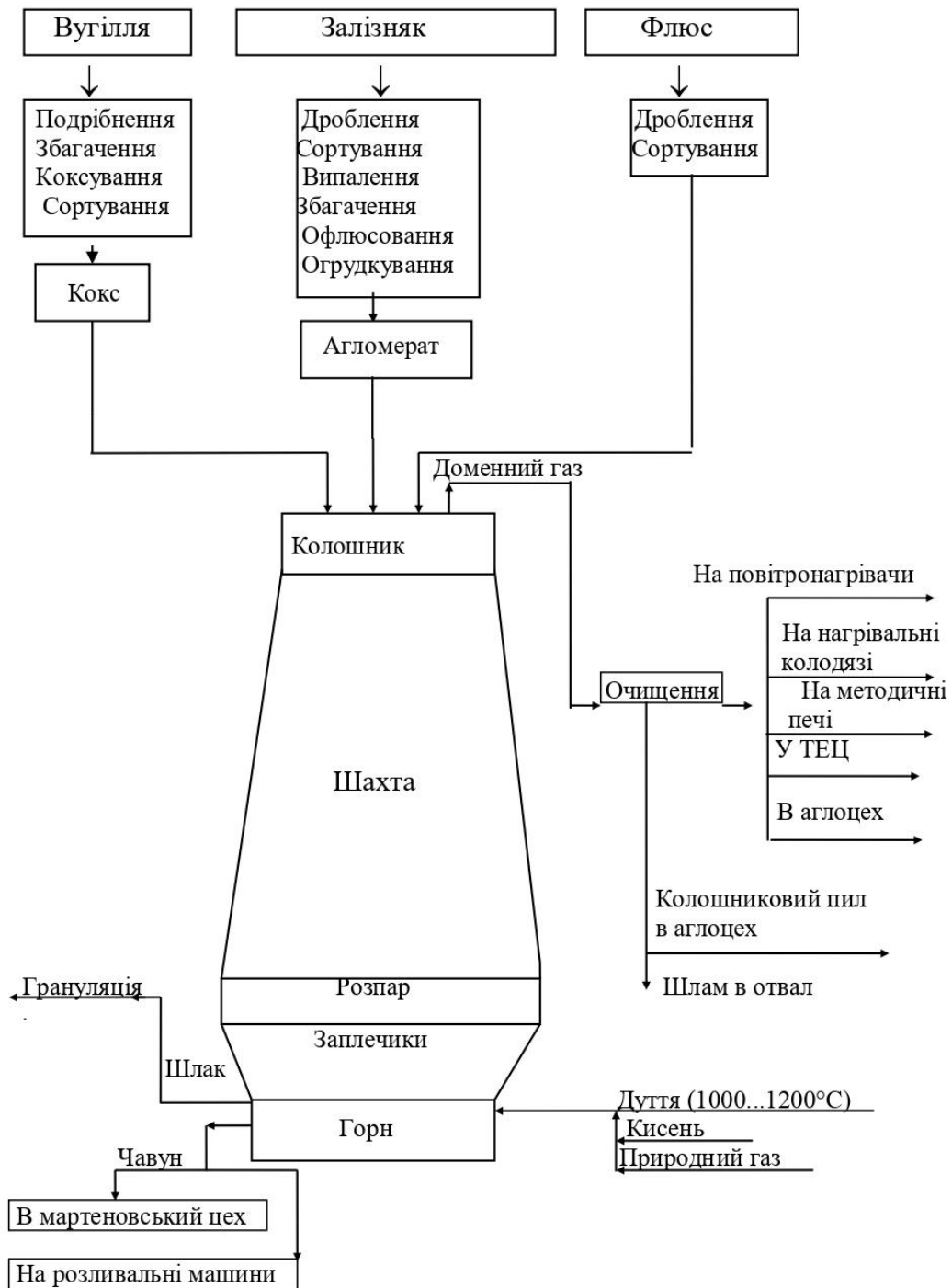
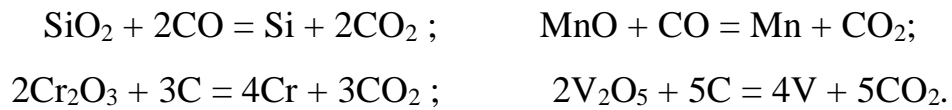


Рисунок 1.1 – Схема доменного виробництва

Свіжовідновлене залізо помітно навуглецьовується ще в твердому стані. При температурі вище 1000...1100°C відновлення заліза майже закінчується і починають відновлюватися більш важко відновлювальні елементи: кремній, марганець, фосфор, хром, нікель, титан, ванадій, цинк та



інші, наприклад:



Навуглецьоване залізо, що містить близько 4% вуглецю і деяку кількість інших елементів, плавиться при температурі 1130...1150°C і стікає у вигляді крапель чавуну в горн. У нижній половині шахти починається утворення рідкого шлаку із складових частин порожньої породи руди, флюсу і золи коксу ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{MnO}$  і т.д.). У шлаку, що стікає вниз, під дією зростаючої температури поступово розплавляється вся порожня порода, флюс і зола.

При взаємодії рідких продуктів плавки з розжареним коксом в заплечиках і горні відбувається посилене відновлення кремнію, марганцю і фосфору з їх оксидів, розчинених в шлаку. Тут не поглинена металом в ході плавки сірка переходить в шлак. Залізо і фосфор практично повністю відновлюються і переходять в чавун. Міра відновлення кремнію і марганцю і повнота видалення з чавуну сірки більшою мірою залежать від температурних умов, хімічного складу шлаку і його кількості.

Рідкий чавун і шлак розділяються в горні завдяки різній густині, і у міру скупчення випускаються через чавунну і шлакову льотки. Випуск чавуну з печі робиться по жолобах, розташованих на майданчику ливарного двору. Перед випуском чавунні льотки і жолоби обробляються вогнетривкими масами. Чавун випускають з печі 8...14 раз на добу. Розлитий по ковшах передільний чавун перед подачею в мартенівський цех при необхідності проходить процес знесірчення. Ковші з товарним чавуном поступають на розливні машини [3].

Схема доменного процесу представлена на рис. 1.2.

Шлак з доменної печі випускають періодично через шлакові льотки (верхній шлак) і при випуску чавуну через чавунні льотки (нижній шлак).

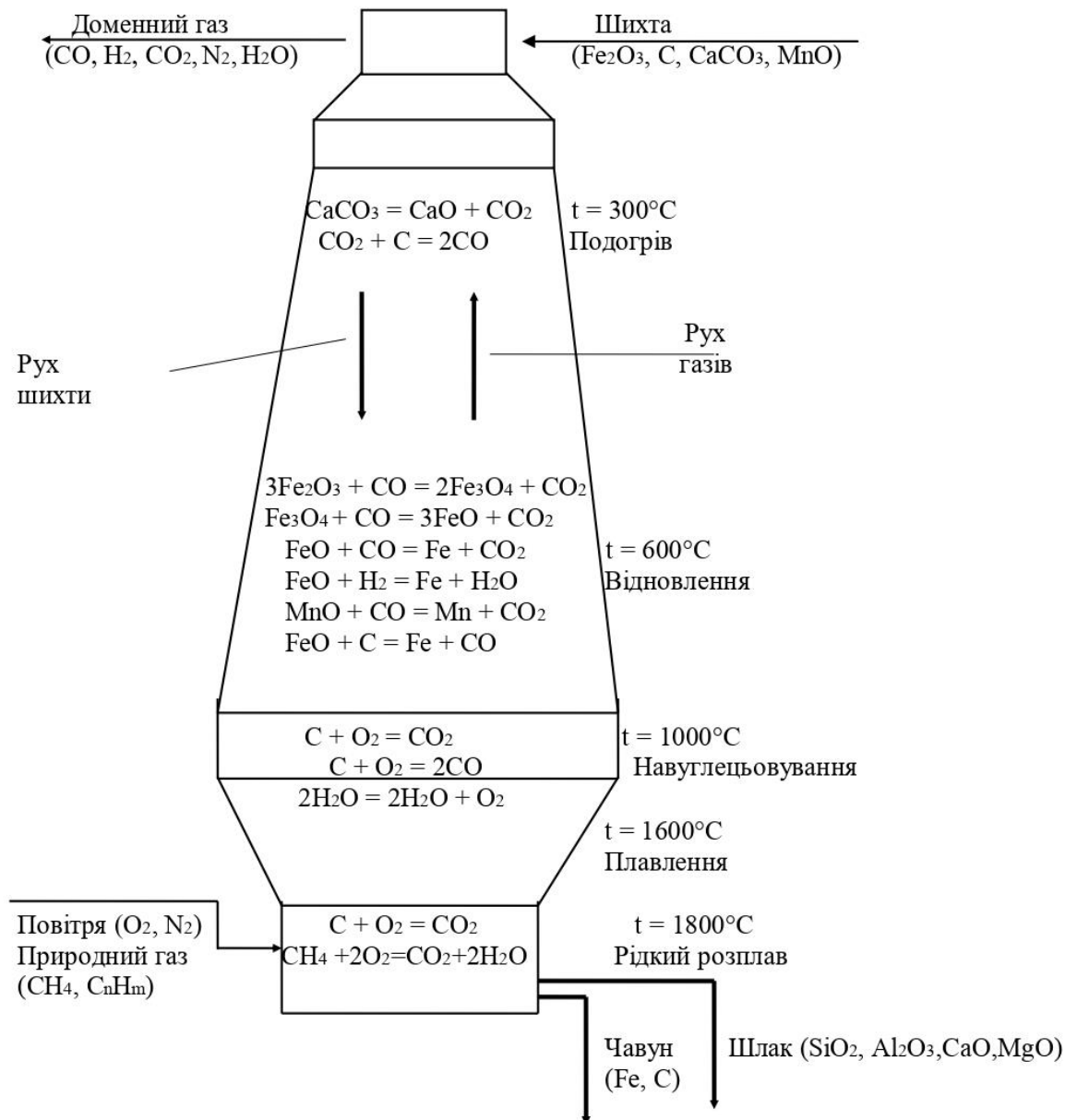


Рисунок 1.2 – Схема доменного процесу

Спосіб переробки шлаку залежить від його модуля основності:

$$M_o = (\text{CaO} + \text{MgO}) / (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3).$$

Шлак вважається кислим при  $M_o < 1$ , нейтральним при  $M_o \approx 1$  і основним при  $M_o > 1$ . Кислі шлаки мають стійку структуру, з них

виробляють шлакове литво, щебінь, пемзу, шлаковату. В Україні такі шлаки отримують на заводі «Азовсталь».

Деякі нейтральні шлаки і більшість основних мають нестійку структуру і схильні до так званого силікатного розпаду. При повільному охолодженні вони розсипаються в порошок. Такі шлаки використовуються в цементній промисловості як добавки до портландцементів, для виробництва шлакопортландцементів і місцевих в'язучих, замінюючи дорогий і дефіцитний клінкер.

Основну масу рідких основних шлаків піддають грануляції, а частину зливають на шлакових відвалах. Гранульований шлак може використовуватися як теплоізоляційні і інші засипки, заповнювач бетонів.

Можливе вживання доменного шлаку в сільському господарстві як добрива.

Доменні шлаки більшості заводів України, за винятком «Азовстали» - основні.

Наприклад, доменний шлак комбінату «Запоріжсталь» має наступний склад (середній за багатолітній період): CaO - 49%, MgO - 6%, SiO<sub>2</sub> - 36%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 5%, Fe - 2,3%, FeO, MnO и др. - 1,7%. Модуль основності  $M_o = 1,34$ .

Доменний (колошниковий) газ утворюється в печі при взаємодії кисню дуття і шихти з вуглецем коксу. Він містить 30...40% горючих компонентів і після очищення використовується як паливо. Нижча робоча температура згорання доменного газу зазвичай лежить в межах 3...4,5 МДж/м<sup>3</sup>.

Маса пилу, що виноситься доменним газом, складає 20...100 кг/т чавуну. Запиленість доменного газу рівна 9...200 г/м<sup>3</sup>. Кількість доменного газу, що утворюється, складає близько 3900 м<sup>3</sup>/т вологого коксу, або 4000 м<sup>3</sup>/т сухого коксу, або 2000...2500 м<sup>3</sup>/т чавуну. Температура газу на виході з печі залежить від її об'єму, температури і складу дуття і інших показників. Вона лежить в межах 150...450°C.

Середній, за багатолітній період, склад доменного газу комбінату ВАТ «Запоріжсталь» (на суху масу) і інші параметри газу приведені в

таблиці 1.1. Печі на комбінаті, як видно з таблиці, працюють з підвищеним тиском на колошнику. Вихід газу від однієї печі складає 150...230 тис. м<sup>3</sup>/год, по комбінату – біля 900 тис. м<sup>3</sup>/год.

Таблиця 1.1 – Параметри доменного газу на виході з печі

Склад газу, об. %				Вологовміст, г/кг	Запиле- ність, г/кг	Тиск, МПа	Темпера- тура, °С
СО	Н <sub>2</sub>	СО <sub>2</sub>	Н <sub>2</sub>				
25,1	9,6	17,7	46,8	20	10...20	0,3	230...260

Із-за невеликої теплоти згорання доменний газ зазвичай використовується в суміші з іншим, висококалорійним паливом, найчастіше з природним або коксовим газом. На комбінаті ВАТ «Запоріжсталь» доменний газ використовується у повітрянагрівачах доменних печей, нагрівальних колодязях, методичних печах, котлах ТЕЦ і в деяких інших агрегатах.

Одним з недоліків доменного виробництва на комбінаті ВАТ «Запоріжсталь» є відсутність утилізації теплової енергії і енергії надлишкового тиску доменного газу.

Тепловміст доменного газу можна ефективно утилізувати в газовій утилізаційній безкомпресорній турбіні (ГУБТ). Проте, встановлювати таку турбіну після апаратів мокрого очищення газу не можна. Газ, що пройшов такі апарати, насичений водяними парами, які при розширенні газу в турбіні конденсуватимуться. Крапельки вологи, ударяючись об рухомі з великими швидкостями лопатки турбіни, викличуть їх швидкий ерозійний знос. Тому, при використанні мокрої системи очищення, газ перед ГУБТ необхідно підігрівати. Звичайно це роблять, спалюючи частину очищеного доменного газу і змішуючи продукти згорання з основним потоком газу. При цьому знижується теплота згорання, і так досить низька в доменного газу.

Враховуючи цей чинник і те, що значна частина теплової енергії доменного газу втрачається в порожнистому форсуночному скрубєрі і

скрубери Вентурі, можна зробити вивід про меншу ефективність використання ГУБТ при мокрому очищенні газу, в порівнянні з сухою.

У розливному відділенні доменного цеху здійснюється розливання товарного чавуну. Від розливних машин в атмосферу виділяються неорганізовані викиди пилу, оксиду вуглецю і сірчистого ангідриду.

При підвищеному вмісті сірки в передільному чавуні ковші з чавуном прямують на установку знесірчення, де за допомогою гранульованого магнею робиться нейтралізація сірчистих з'єднань. Від установки знесірчення чавуну виділяються викиди пилу, сірчистого ангідриду, оксиду вуглецю, які віддаляються через димар без очищення.

У відділенні глином'ялки виробляється приготування вогнетривких мас. Тут використовуються валкові дробарки для подрібнення коксу і бігуни помелу глини. Від дробарок і бігунів в атмосферу виділяються викиди пилу. Ці агрегати обладнані укриттями, через які здійснюється відсмоктування газів, які потім очищаються в сухих циклонах.

Доменний цех в металургійному комбінаті зазвичай є другим по кількості шкідливих речовин, що викидаються в атмосферу, забрудником після агломераційного цеху. Газоподібні відходи доменного виробництва можна розділити на організовані (доменний газ) і неорганізовані (на рудному дворі, в підбункерних приміщеннях, на ливарному дворі, на колошнику і так далі). Кожна ділянка доменного виробництва є джерелом викидів шкідливих речовин в атмосферу.

На рудному дворі і в підбункерних приміщеннях доменних печей утворюються неорганізовані викиди пилу. На рудному дворі викиди незначні і доки немає технічних рішень по їх локалізації і очищенню. Питомі викиди пилу в підбункерному приміщенні, обладнаному вагон-вагами, складають в середньому 3...3,5 кг/т чавуну. У підбункерних приміщеннях, обладнаних транспортерами, питомі викиди пилу знижуються до 0,2 кг/т чавуну.

Пилегазовиделення з печі обумовлені тим, що при подачі шихти на великий конус завантажувального пристрою тиск по обидві сторони конуса

необхідно вирівняти, для чого неочищений газ з міжконусного простору виводять в атмосферу. Запиленість газу під час вихлопу складає 250...700 г/м<sup>3</sup>. Питомий викид пилу досягає 4 кг/т чавуну. Крім того, пиловиділення відбувається при кожному зсипанні скіпа в приймальну лійку. Викиди пилу з міжконусного простору печі складають близько 300...400 кг/добу, викиди оксиду вуглецю – 10...12 т/добу.

Пил, що викидається з міжконусного простору при виплавці передільного чавуну, містить, мас. %: Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 40...49; FeO - 8; SiO<sub>2</sub> - 9...11; С - 6...6,5; СаО - 8,5; MgO - 6...9 і інші складові. Густина пилу вагається в межах 2600...3200 кг/м<sup>3</sup> (дані по комбінату ВАТ «Запоріжсталь»).

На доменних печах на ущільнення конусів подається азот з тиском 0,4...0,45 МПа, або водяна пара, що виключає викиди шкідливих речовин в атмосферу.

На ливарних дворах при випуску і розливанні чавуну по ковшах в атмосферу виділяються неорганізовані викиди пилу, оксиду вуглецю, сірчистого ангідриду. Вихід газів при сливі чавуну в ківш складає 17...23 тис. м<sup>3</sup>/год. В чавунної льотки виділяється близько 90 тис. м<sup>3</sup>/год. газів. Пил є бризками чавуну, що окислюються в повітрі, перегонами, що утворилися при контакті струменя металу з повітрям. Хімічний склад пилу коливається залежно від складу чавуну і його температури. Вміст основних компонентів, мас. %: FeO - 3...57; SiO<sub>2</sub> - 1,4...29; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 0,35...1,75; СаО - 0,54...4; MgO - 0,2...4,3; Р - 0,04...0,15; С - 0,3...7. Густина пилу змінюється від 4000 до 4800 кг/м<sup>3</sup>.

В разі, якщо на доменних печах ці викиди не локалізуються і не очищаються, середня концентрація пилу в період випуску складає 150...1500 мг/м<sup>3</sup>, максимальна концентрація спостерігається над головним жолобом і ковшем для чавуну. Для зниження пиловиділень може бути встановлена аспіраційна система ливарного двору, скіпової ями і приймальної лійки засипного апарату.

Ливарний двір є рівним майданчиком без перепадів і ухилів. Охолоджувані головні і транспортні жолоби футеровані високостійкими вогнетривкими набиваннями, вони закриваються кришками, футерованими вогнетривким бетоном. Жолоби, що коливаються, для чавуну і шлаку обладнані аспіраційними пристроями. Для переміщення кришок головного жолоба встановлений маніпулятор. Для обслуговування механізмів і устаткування встановлена кран-балка вантажопідйомністю 10т [4].

На доменних печах організовано безпилне вивантаження пилу з сухого пиловловлювача і конвеєрну подачу уловленого колошникового пилу в приймальні бункери аглоцеху.

При підігріванні дуття у повітронагрівачах печей спалюється суміш доменного і природного газів. При її горінні утворюються оксиди азоту і вуглецю, бенз(а)пірен і незначна кількість сірчистого ангідриду, які разом з димовими газами викидаються через димар без очищення.

Доменний газ, що виходить з печі, забруднений пилом. Згідно вимогам, для використання як паливо, газ має бути очищений від пилу до концентрації не більше 10 мг/м<sup>3</sup>. Це необхідно щоб уникнути відкладень в трубопроводах, забивання і зносу пальників.

На більшості металургійних заводів України в даний час діє мокра багатоступінчаста схема очищення доменного газу. Первинне, грубе очищення здійснюється в сухому радіальному пиловловлювачі, що є циліндром з конічним бункером. Пил з сухого пиловловлювача періодично віддаляється за допомогою шнека, змочуваного водою, в залізничні вагони. Другий, напівтонкий рівень очищення здійснюється в апараті мокрого очищення – порожнистому форсунковому скрубєрі. Після порожнистого форсункового скрубєру газ поступає в скрубєр Вентурі. Тут здійснюється тонке очищення газу. Завершується процес тонкого очищення доменного газу в дросельній групі. Основне призначення цього апарату – дроселювання газу. При цьому підтримується підвищений тиск на колошнику і в системі газоочистки, а до споживачів газ поступає із зниженим тиском.

## РОЗДІЛ 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 2.1 Безпека технологічних процесів і обладнання

Доменний цех є комплексом складних пристроїв з високим рівнем автоматизації, з іншого боку в цеху присутнє велике число небезпечних виробничих чинників. До цих чинників відносяться розплавлені матеріали у великих кількостях, нагріті до високої температури поверхні, рухомі агрегати великої маси, високий тиск дуття, вибухонебезпечні і токсичні гази, що знаходяться під надлишковим тиском, електричний струм, спорудження великої висоти, з яких є вірогідність падіння [5].

Вживання природного газу в доменних печах, підвищення тиску газу на колошнику, усе більш високий нагрів дуття і інші заходи, направлені на інтенсифікацію виробництва, ускладнюють роботу персоналу і вимагають підвищення уваги до питань поліпшення праці і профілактики травматизму.

Різні ділянки доменного цеху мають різну травмонебезпечність. Вірогідність травмування залежить від наявності на ділянці небезпечних агрегатів, їх ступеню досконалості і технічного стану.

Вихід зі строю устаткування, аварії на доменних печах створюють підвищену небезпеку для обслуговуючого персоналу.

Одні з найбільш небезпечних аварій – прориви горна, які в більшості випадків відбуваються раптово, пов'язані з необхідністю аварійної зупинки печі для відновного ремонту, тривалими простоями печі. Такі аварії особливо небезпечні на сучасних печах, що працюють при високому тиску із застосуванням нагрітого до високої температури комбінованого дуття.

Велика частина проривів відбувається в районі чавунних льоток, між ними або декілька нижче за їх рівень [6].

Основні причини цих аварій наступні.

1. Слабкий контроль спорудження кладки, внаслідок чого були перевищені допустимі розміри швів; неякісне заповнення швів і зазорів.



2. Недостатня якість вогнетривких матеріалів, що йдуть на футерування горна і поду.

3. Недостатній контроль стану печі з боку обслуговуючого персоналу і невчасне вживання заходів по недопущенню виходу зі строю вогнетривкої кладки.

До аварій, які можуть мати тяжкі наслідки, відносяться прогари повітряних і шлакових фурм, а також холодильників печі. Надходження води і пари в робочий простір печі може привести до різкого розширення пари, яке може супроводжуватися розкладанням води при високій температурі на кисень і водень з утворенням гримучої суміші. Вибух останньої може привести до руйнування корпусу печі.

Причини прогарів – недотримання графіка випуску продуктів плавки, засмічення горна, різке зниження якості коксу, утворення гарнісажа великої товщини і підхід чавуну до шлакової льотки.

Також важкі наслідки мають аварії – розриви кожуха доменної печі, які зустрічаються відносно рідко. Серед причин таких аварій можна назвати наступні [5]:

- перегрів кожуха унаслідок виходу зі строю вогнетривкої кладки і холодильників;
- недостатнє охолодження кожуха;
- мала міцність кожуха унаслідок неправильного підбору марки сталі і недостатньої товщини кожуха;
- низька якість зварних швів;
- висока напруга в кожусі унаслідок теплового розширення кладки;
- недостатня якість заповнення компенсаційного зазору між кладкою і кожухом.

На практиці в доменному процесі постійно виникають відхилення від нормальних параметрів (розлади ходу печі), що викликають зниження рівня безпеки і що наводять до виникнення небезпечних виробничих чинників.

Основними такими відхиленнями є: похолодання, перегрів, тугий хід, однобічний хід, каналний хід, захаращення горна тугоплавкими масами.

Похолодання і перегрів можуть бути пов'язані з недостатньою або дуже високою температурою дуття; порушення ходу – з відхиленнями у складі шихти або в системі її подачі.

Для виявлення відхилення параметрів роботи печі від норми необхідні досконалі контрольно-вимірювальні прилади. Чим раніше виявлено таке відхилення, тим легше і швидше воно усувається. Для приведення параметрів в норму застосовуються всілякі способи: зміна температури і витрати дуття, складу шихти і схеми її подачі.

Розглянемо окремі види аварій. Найчастіше аварії трапляються на охолоджувальній арматурі печі. Найбільш серйозні з них – прогари фурм і холодильників. Засоби попередження таких аварій: автоматична сигналізація, своєчасна зміна охолоджуваної апаратури, відключення подачі води в холодильники, що прогоріли.

Другий вид небезпечних аварій – прориви горна. Для їх профілактики необхідний ретельний контроль якості вогнетривких матеріалів і швів кладки. Особливо це відноситься до вуглецевих матеріалів. Вуглецеві блоки, маса і паста руйнуються під впливом води, вуглекислого газу, шлаків і чавуну. Важливий також контроль над станом льоточної маси. Вживані льоточні маси не завжди забезпечують необхідну довжину чавунної льотки і сильно розмиваються при випуску продуктів плавки. Велика кількість води, що поступає в канал чавунної льотки з льоточною масою, проникає в кладку горна і руйнує її.

Контроль над станом чавунної льотки, за охолодженням горна і поду, строге виконання графіка випуску продуктів плавки забезпечать збереження вогнетривкої кладки в горні і поду.

Для безпечної роботи при випуску продуктів плавки необхідна підтримка необхідної довжини чавунної льотки, надійне її закривання,

хороше просушування до випуску чавуну, висока стійкість льоточної маси в льотці проти розмивання чавуном і шлаком.

До важких аварій відносяться і розриви кожуха. Заходи запобігання: ретельний контроль зварних швів, роботи холодильників кожуха печі, компенсаційного зазору [6].

При випуску продуктів плавки виникає небезпека опіків бризками чавуну і шлаку. Для забезпечення безпечного проходу довкола горна біля стень піддоменника проти шлакових льоток мають бути влаштовані запобіжні стінки.

Для переходу через канави і жолоби влаштовуються теплоізовані перехідні містки, захищені перилами.

Сучасний доменний цех є високо механізованою і енергоозброєною структурною одиницею.

При обслуговуванні бункерних естакад причиною нещасних випадків може стати зависання матеріалів в бункерах. Для виключення цього забороняється подавати на бункерну естакаду матеріали негабаритів.

Шурування бункерів здійснюється через шурувальні люки або запобіжні ґрати довгими списами або ломами. Спуск робітників в бункер допускається лише в окремих випадках при роботі на сирих рудах. За проведенням робіт усередині бункера повинен спостерігати працівник, що знаходиться на майданчику бункера. Робота здійснюється по наряду-допуску.

Основними небезпеками при експлуатації вагон-ваг є придавлення робітників вагон-вагами до коксових грохотів, барабанів затворів бункерів і до інших конструкцій, а також наїзди вагон-ваг на робітників в підбункерному приміщенні. Аби усунути придавлення робочих до затворів бункерів, вагон-ваги треба обладнати блокуванням, що запобігає можливості їх руху тоді, коли робітники знаходяться на передніх або на задніх нижніх майданчиках вагон-ваг. Для запобігання придавлення вагон-вагами до грохотів, між ними повинен залишатися вільний габарит не менше 700 мм.

Основна небезпека при експлуатації підйомників полягає в придавленні робітників скіпами в скіповій ямі. Це відбувається в скіпових ямах малих розмірів при їх очищенні під час руху скіпів. Аби уникнути цього, відстань від скіпу до задньої стінки ями має бути не менше 2м, а до бічних стінок - не менше 1м.

При завантаженні шихти в доменну піч можливі гострі отруєння оксидом вуглецю і опіки полум'ям. Найважливіший захід – герметизація засипних пристроїв. Важливим чинником інтенсифікації доменного процесу є підвищення тиску колошникових газів. Це пред'являє високі вимоги до стійкості і функцій газоушільнювачів засипних апаратів. Через нещільність в засипних апаратах виходить доменний газ і виноситься велика кількість пилу, що викликає забруднення повітряного басейну цеху і підприємства, може викликати гострі отруєння.

Знос засипних апаратів відбувається унаслідок абразивної дії запиленого газу і шихти. Найчастіше виходять зі строю конуси засипних апаратів, які виконують функції газового ущільнення і розподілу шихти на колошнику.

Принципово відмінною конструкцією засипного апарату є безконусний апарат, створений фірмою «Вюрт» (Люксембург). Апарат складається з шлюзових лійок з клапанами ущільнювачів. Розподіл матеріалів по діаметру колошника здійснюється лотком, що обертається в горизонтальній площині, з регульованим кутом нахилу. Конструкція дозволяє добитися максимального зменшення витоку газів.

Прогари фурм небезпечні, оскільки можуть супроводжуватися витоком газу і викидом розплавлених матеріалів, що є причиною опіків і механічних травм. Утворення тріщин у фурмах відбувається унаслідок конструктивних недоліків, дефектів матеріалу і порушень при виготовленні. Відбракування дефектних фурм до їх установки повинне здійснюватися методами неруйнівного контролю, наприклад за допомогою рентгенівської або ультразвукової дефектоскопії.

Знос фурми відбувається в результаті стирання оберненого всередину печі носка фурми під впливом циркулюючих матеріалів і теплового потоку. Своєчасне виявлення прогару дозволяє забезпечити безпеку персоналу. Контроль виникнення прогару має бути безперервним. Датчики можуть реагувати, наприклад, на появу газу в потоці води, що охолоджує.

Найбільше число аварій і травм відбувається в процесі випуску продуктів плавки, тому безпечна організація цих операцій набуває найважливішого значення.

Відповідальною частиною горна доменної печі, що вимагає особливої уваги з боку обслуговуючого персоналу, є чавунні льотки. Бригада горнових зобов'язана забезпечувати необхідну довжину чавунних льоток, максимально можливу їх стійкість проти зносу, ремонт, набивання, сушку і закриття.

Велике значення має дотримання вимог безпеки при обслуговуванні головного жолоба. Після кожного випуску чавуну горнові зобов'язані прибрати з нього шлак і перевірити стан набивання. При зносі набивання необхідно ретельно розчистити зношені місця і провести необхідний ремонт. Застиглий чавун необхідно видалити, оскільки застигання чавуну на жолобі може викликати зрив набивання жолоба. Повний ремонт головного жолоба повинен проводитися строго по графіку [6].

## **2.2 Гігієна праці і виробнича санітарія**

### **2.2.1 Шкідливі чинники виробничого середовища в доменному цеху**

У доменних цехах в результаті особливостей технологічного процесу, що супроводжується утворенням великих кількостей надлишкового тепла, інфрачервоної радіації, пилу і газів, питання створення сприятливих санітарно-гігієнічних умов праці набувають особливого значення. Основні

шкідливі чинники виробничого середовища, їх допустимі і фактичні значення приведені в таблиці 2.1 [7].

Таблиця 2.1 – Оцінка чинників виробничого середовища трудового процесу на робочому місці горнового ливарного двору

№ п/п	Чинники виробничого середовища і трудового процесу	Нормативне значення	Фактичне значення	III клас – шкідливі і небезпечні умови і характер праці			Час дії чинника %,
				I ступінь	II ступінь	III ступінь	
1	Шкідливі хімічні речовини, мг/м <sup>3</sup> I клас безпеки Марганцю оксиди	0,3	1,28			4,26	80
	II клас безпеки Азоту діоксид						
	Ангідрид сірчистий			1,3			
	Монооксид вуглецю			1,68	1,18		
2	Пил, переважно фіброгенної дії, мг/м <sup>3</sup>	4,0	18,5		4,63		80
3	Вібрація, дБ	-	-	-			-
4	Шум, дБА	80	86	6			80
5	Мікроклімат на робочому місці (теплий період) :	20-22	37	0,05		15	80
	- температура, °С	0,4	0,45				
	- швидкість руху повітря, м/с	40-60	41				
	- відносна вологість %	140	1435				
	- інфрачервоне випромінювання Вт/м <sup>2</sup>				1435		
6	Тяжкість і напруженість праці	Важка, III, напружена					

Основними джерелами теплового випромінювання в доменному цеху є рідкий чавун і шлак, нагріті поверхні печі, трубопроводів і тому подібне. Разом з тепловипромінюванням від гарячих поверхонь надходить конвективний нагрів повітря, що підвищує температуру в приміщеннях. Максимальна інтенсивність інфрачервоного випромінювання і найбільша температура повітря спостерігаються на горновому майданчику в період випуску чавуну і шлаку (до 12,8 кВт/м<sup>2</sup> і 40°С) [8].

Спектр випромінювання рідких продуктів плавки містить видимі і інфрачервоні промені. Максимум випромінювання доводиться на інфрачервоні промені з довжиною хвилі близько 1,6 мкм, що мають середню

проникаючу здатність в тканинах організму. Теплове випромінювання від поверхні печей містить в основному довгохвильові інфрачервоні промені, які викликають нагрів лише поверхні шкіри.

Інфрачервоне випромінювання і надлишки конвективного тепла впливають на функціональний стан людини, його центральну нервову систему. Спостерігаються різке почастищення серцебиття, підвищення максимального і пониження мінімального артеріального тиску, підвищення температури тіла, посилення потовиділення. При тривалій дії високих температур відбувається порушення водно-сольового балансу, яке може привести до теплового удару [9].

До істотних шкідливих чинників доменного виробництва відноситься також запиленість і загазованість повітряного середовища. Джерелами виділення пилу і газів є поверхні рідкого металу і шлаку (аерозоль конденсації), процеси перевантаження і транспортування матеріалів, що порошать (аерозоль дезинтеграції). Найбільша запиленість спостерігається на бункерній естакаді - до  $1000 \text{ мг/м}^3$ . Пил містить велику кількість оксидів заліза і близько 12% діоксиду кремнію, що зумовлює її фіброгенну дію.

При випуску чавуну концентрація пилу на ливарному дворі біля жолобу досягає  $270 \text{ мг/м}^3$ . До складу пилу ливарного двору входять оксиди заліза (до 57%), діоксид кремнію (до 29%), вуглець у вигляді графіту (до 7%). Цей пил також має фіброгенну дію.

З газів, що поступають в робочу зону доменного цеху, найбільшу небезпеку представляє оксид вуглецю (СО). Максимальна концентрація СО спостерігається на колошнику під час роботи засипного апарату. Колошникові майданчики відносяться до газонебезпечних місць I групи. Тут можна працювати лише в газозахисних апаратах по спеціальному допуску і у присутності газорятівників. На горновому майданчику концентрація СО досягає  $30 \text{ мг/м}^3$ , що перевищує ГДК ( $20 \text{ мг/м}^3$ ).

Шуми в доменному цеху мають різне походження. Горіння коксу, природного газу в печі викликає термічний шум. Рух гарячого дуття в

трубопроводах, на виході з фурм є джерелом аеродинамічного шуму. Робота механізмів кранів, вагон-ваг, скіпового підйомника служать причиною механічного шуму. У багатьох місцях доменного цеху рівень шуму перевищує допустимий: на робочому місці горнового (86 дБА), в кабіні рудного крану (90 дБА), в кабіні вагоноперекидачу (88 дБА), на майданчику повітронагрівачів (96 дБА), біля повітророзвантажувального клапана «снорт» під час його роботи (120...130 дБА). Шум в приміщенні пульта управління доменною піччю (68 дБА) не перевищує допустимого рівня [10].

Таким чином, проведений аналіз умов праці дозволяє зробити висновок, що умови праці відносяться до 3 класу III ступеню. Робоче місце має в наявності 5 чинників I ступеню, 2 чинника II ступеню і 2 чинника III ступеню. За показниками робоче місце слід вважати з особливо шкідливими і особливо важкими умовами праці [11].

### **2.2.2 Заходи захисту від шкідливих чинників**

Підвищена теплова дія на організм людини приводить до перенапруження його терморегуляторних функцій і може викликати порушення теплового балансу організму. Крім того, різке коливання температури приводить до різних простудних захворювань.

Несприятливий вплив високих температур повітря посилюється дією випромінюваного тепла. Інфрачервоні випромінювання впливають на функціональний стан людини, його центральну нервову систему, серцево-судинну систему. При тривалому перебуванні людини в зоні інфрачервоного випромінювання, як і при систематичній дії високої температури, відбувається порушення водно-сольового балансу, який викликає так звану судорожну хворобу. Порушення теплового балансу викликає захворювання, зване тепловою гіпотермією або перегрівом [12].

Захист від інфрачервоного випромінювання досягається теплоізоляцією гарячих поверхонь, екрануванням джерел випромінювання і робочих місць,



застосуванням повітряного душення. Для захисту горнового від теплового випромінювання пропонується екранування рухомим тепловідбивним екраном. Екран не тільки захищає від теплових випромінювань, але і оберігає від іскр і виплесків розплавленого металу і шлаку.

Заходи захисту від теплонадлишків: теплоізоляція доменної печі, трубопроводів, випарне охолодження кожуха печі, аерація, місцева витяжна вентиляція, водорозпил на робочих місцях, вживання закритих жолобів замість відкритих. Як засоби індивідуального захисту застосовують спецодяг груп Тн, Тр, Тв – для захисту від теплового випромінювання, бризок рідкого металу і іскор, від контакту з нагрітими поверхнями [13, 14].

Пил виявляє шкідливу дію на організм людини, подразнюючи шкіру, очі, ясна, вуха. Проникаючи в організм при диханні, при заковтуванні і через пори шкіри, пил може викликати різні професійні захворювання. Наявність в повітрі пилу, що містить оксиди кремнію, заліза і інших мінеральних складових може викликати важкі захворювання – пневмоконіози [15-18].

Для запобігання виділенню запилених газів в простір ливарного двору головний жолоб від льотки до скіммеру на період випуску чавуну накривається знімними укриттями. В кінці головного жолоба на скіммері відбувається розділення чавуну і шлаку. Гази, що утворилися при цьому, відбираються відсмоктуванням в районі скіммеру. Чавун і шлак по транспортних жолобах прямує на гойдаючі жолоби для чавуну і шлаку. Отвори цих жолобів укриті рухомими кришками. Відсмоктування від жолобів, що коливаються, проводиться двома огорожними отворами, виконаними в стінках отвору. З гойдаючих жолобів продукти плавки потрапляють в чавуновозні і шлаковозні ковші.

Для захисту від пилу застосовується аерація, місцева витяжна вентиляція, засоби індивідуального захисту (респіратори РП-км, Айстра-2).

Заміна скіпової подачі шихти конвеєрною зменшує пиловиділення, а вживання безконусного завантажувального пристрою знижує не лише пиловиділення, але і виділення шкідливих газів.

Одному з основних заходів по попередженню можливого отруєння газами, такими як  $MnO_2$ ,  $CO$ ,  $SO_2$ ,  $NO_2$  та ін., є своєчасне виявлення місць їх виділення або скупчення. Ці місця є газонебезпечними й перелік таких місць і ділянок складається заздалегідь і затверджується головним інженером заводу.

Працівники санітарно-технічних лабораторій і газорятівні служби щодоби по встановленому графіку контролюють склад повітряного середовища у всіх газонебезпечних місцях. При виявленні виділень або скупчень газу негайно приймають заходи по припиненню допуску в газонебезпечні зони людей і локалізації джерела виділення газу.

Захистом від газовиділень також служить вентиляція. Крім того, грає роль герметизація кожуха доменної печі, корпусів повітрянагрівачів, трубопроводів доменного газу.

Надмірний шум заважає правильній організації і проведенню виробничих процесів і негативно позначається на продуктивності праці. Шум негативно діє на серцево-судинну і центральну нервову систему.

Для захисту робочих від шуму слідє звукоізолювати вбудовані приміщення – пости управління доменною піччю, кімнати відпочинку і т.п. Для зниження шуму агрегатів використовують звукоізолюючий кожух, який виготовляється з листів сталі завтовшки 2-3 мм, в яких укладають або весь агрегат, або його шумлячі вузли, а внутрішні поверхні облицьовують звукопоглинальними матеріалами. Засобом індивідуального захисту від шуму є вкладиші протигаласливі «Беруши» [19, 20].

Вентилятори системи аспірації, з метою зменшення шуму, встановлюють в окремому приміщенні. Кабіни рудних кранів і вагон-ваг рекомендується робити звукоізолюваними. Заміна скіпової подачі шихти конвеєрною зменшує як рівень шуму, так і рівень загальної вібрації. Знаходження без крайньої виробничої необхідності на майданчиках пальників повітрянагрівачів, де встановлені дугтеві вентилятори, заборонено.

Для зменшення шуму при роботі повітророзвантажувального клапана

«снорт» слідує повітря випускати не безпосередньо в атмосферу, а через димовий лежак повітронагрівачів.

Джерела вібрації (вентилятори) встановлюють на віброізолювані фундаменти. При роботі з джерелами локальної вібрації (машина для розкриття льотки, пневматичний молоток і ін.) використовують подвійні рукавиці, що складаються з тканинного корпусу і внутрішнього пружнодемпфуючого елемента [21].

### 2.2.3 Інженерна розробка заходів захисту від теплового випромінювання

Джерелом сильного теплового випромінювання є жолоби для випуску рідких продуктів плавки. Розрахуємо інтенсивність теплового випромінювання від відкритого жолоба.

Вихідні дані:

Температура поверхні рідкого чавуну в жолобі	$t' = 1550^{\circ}\text{C};$ $T' = 1823 \text{ K}$
Температура поверхні, що піддається тепловому опроміненню (спецодягу робітника)	$t'' = 60^{\circ}\text{C};$ $T'' = 333 \text{ K}$
Середній зріст робітника в спецвзутті	$h = 1,75 \text{ м}$

Інтенсивність теплового випромінювання можна обчислити за наближеною формулою [18], Вт/м<sup>2</sup>:

$$q = 0,91[(T'/100)^4 - (T''/100)^4]\sin\alpha / L^2, \quad (2.1)$$

де  $L$  – відстань до центру джерела випромінювання, м;

$\alpha$  - кут між площиною джерела випромінювання і прямою, що проходить через центр джерела і розрахункову точку (рис. 2.1).

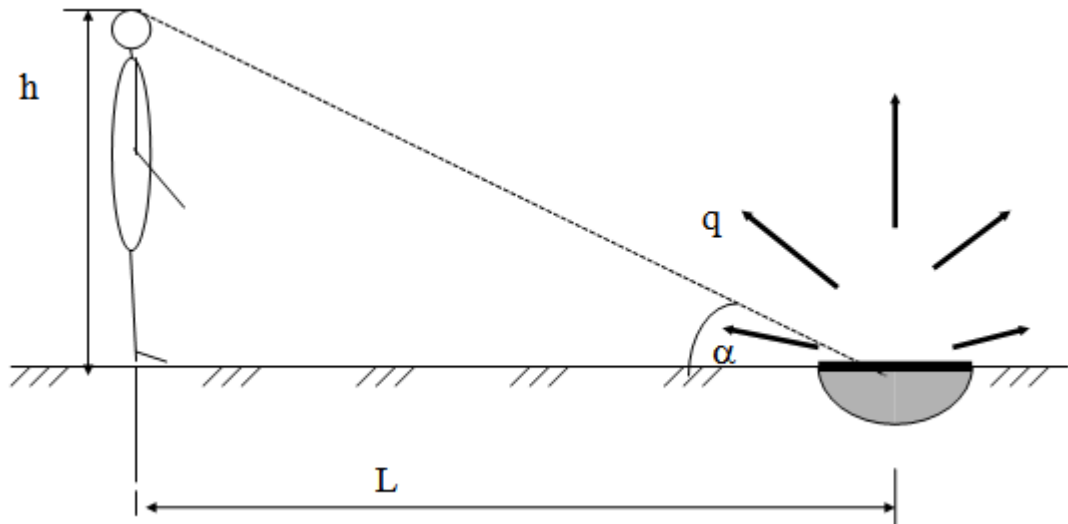


Рисунок 2.1 – Схема для розрахунку інтенсивності теплового випромінювання

З рис. 2.1 видно, що величину  $\sin \alpha$  можна виразити через лінійні розміри:

$$\sin \alpha = \frac{h}{\sqrt{h^2 + L^2}} \quad (2.2)$$

Максимальна інтенсивність на заданій відстані спостерігатиметься на висоті голови людини, мінімальна – на рівні підлоги. Знайдемо максимальну інтенсивність опромінення на відстані 1 м від центру джерела (від осі жолоба).

$$\sin \alpha = \frac{1,75}{\sqrt{1,75^2 + 1^2}} = 0,868,$$

$$q = 0,91[(1823/100)^4 - (333/100)^4]0,868/1 = 100390 \cdot 0,868/1 = 87140 \text{ Вт/м}^2 = 87,1 \text{ кВт/м}^2$$

Для інших відстаней розраховані значення інтенсивності випромінювання приведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Інтенсивність теплового опромінення від відкритого жолоба на різних відстанях.

Відстань від осі жолоба L, м	1	2	3	5	7	10	11
$\sin\alpha$	0,868	0,659	0,504	0,330	0,243	0,172	0,158
Інтенсивність теплового опромінення, $q$ , Вт/м <sup>2</sup>	87140	16540	5620	1325	498	173	131

Розглянемо теплове випромінювання від жолоба, закритого футерованим перекриттям. Приймаємо, що перекриття з боку рідкого чавуну футеровано динасовою цеглиною завтовшки  $\delta'=130$  мм, а зовні покрито вермикулітовими плитами завтовшки  $\delta''=100$  мм. Тепловим опором сталевому перекриття можна нехтувати зважаючи на його малу товщину і велику теплопровідність стали.

Коефіцієнт тепловіддачі до внутрішньої поверхні кришки [18]:  $\alpha' = 100$  Вт/м<sup>2</sup>К.

Коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні кришки доколишньому повітрю [18]:  $\alpha'' = 20$  Вт/м<sup>2</sup>К.

Коефіцієнти теплопровідності [18]: динасу -  $\lambda' = 1,5$  Вт/мК, вермикуліту -  $\lambda'' = 0,1$  Вт/мК.

Питомий тепловий потік через перекриття, Вт/м<sup>2</sup> :

$$q_n = (t' - t_0) / (1/\alpha' + \delta'/\lambda' + \delta''/\lambda'' + 1/\alpha''), \quad (2.3)$$

де  $t_o$  – температура довколишнього повітря, приймаємо її рівною  $40^\circ\text{C}$ .

$$q_n = (1550 - 40)/(1/100 + 0,13/1,5 + 0,1/0,1 + 1/20) = 1317 \text{ Вт/м}^2.$$

Температура зовнішньої поверхні перекриття,  $^\circ\text{C}$ :

$$t_k = t_o + q_n/\alpha'' \quad (2.4)$$

$$t_k = 40 + 1317/20 = 106 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Визначимо інтенсивність теплового опромінення на відстані 1м від осі футерованого жолобу,  $\text{Вт/м}^2$ :

$$q_f = 0,91[(T_k/100)^4 - (T''/100)^4] \sin\alpha/L^2 \quad (2.5)$$

При  $L = 1 \text{ м}$ ,  $\sin\alpha = 0,868$ :

$$q_f = 0,91\{[(106 + 273)/100]^4 - (333/100)^4\} 0,868/1 = 66 \text{ Вт/м}^2.$$

Таким чином, навіть на відстані 1м від осі джерела інтенсивність теплового випромінювання менше гранично допустимого значення, яке складає  $140 \text{ Вт/м}^2\text{К}$  [18].

Для відкритого жолоба відстань, на якій можна знаходитися невизначено довгий час, складає 11 м (таблиця 2.2).

#### 2.2.4 Природне і штучне освітлення

На ливарному дворі доменного цеху застосовується природне і штучне освітлення. Розряд зорових робіт – VII – робота з матеріалами, що світяться, в гарячих цехах [21].

У цеху застосовується бічне і верхнє природне освітлення. Коефіцієнт природної освітленості для 3 світлового поясу [21]:  $e''' = 1,8\%$ .

Нормоване значення коефіцієнта природної освітленості (КПО) [21]:

$$e_n = e''' m C, \quad (2.6)$$

де  $m = 0,9$  – коефіцієнт світлового клімату для району м. Запоріжжя (4 світловий пояс),  $C = 0,7$  – коефіцієнт сонячності клімату, залежний від географічного положення і орієнтації світлових отворів по сторонах горизонту [21].

$$e_n = 1,8 \cdot 0,9 \cdot 0,7 \approx 1,1\%.$$

Значення  $e_n$  слід округлювати до десятих долей відсотка.

Освітленість від штучних джерел світла має бути не менше 200 лк для газорозрядних ламп і 150 лк для ламп розжарювання [21].

Джерелами світла на ливарному дворі служать лампи розжарювання Г220-750, розраховані на напругу 220В, споживана потужність 750 Вт [21]. Світильники – УПД, закриті, пилогазонепроникні. Замінюємо їх на світильники УПДДРЛ з металогалогенними лампами ДРИ2000. Такі лампи не бояться високих температур, що мають місце в цеху, а також стійки до змін температури. Світловіддача в 5...7 разів більша, ніж в ламп розжарювання.

Визначимо необхідну кількість світильників.

#### Вихідні дані

Довжина приміщення	$A = 45 \text{ м}$
Ширина приміщення	$B = 40 \text{ м}$
Розрахункова висота світильників над робочою поверхнею	$h = 16 \text{ м}$
Нормативна освітленість	$E = 150 \text{ лк}$

Розрахунок ведемо методом коефіцієнта використання.

1. По таблиці [21] знаходимо світловий потік лампи ДРИ2000:  $\Phi = 190\,000$  лм.
2. Коефіцієнт нерівномірності для газорозрядних ламп [21]:  $z = 1,15$ .
3. Коефіцієнт запасу для приміщень з повітряним середовищем, що містить  $>5\text{мг/м}^3$  пилу [21]:  $k = 1,7$ .
4. Освітлювана площа,  $\text{м}^2$ :

$$S = AB = 45 \cdot 40 = 1800 \text{ м}^2 \quad (2.7)$$

5. По таблиці [21] знаходимо коефіцієнти віддзеркалення для приміщення з великими пиловиділеннями:

для стелі  $\rho_n = 30\%$ ,  
 для стін  $\rho_c = 10\%$ ,  
 для робочій поверхні  $\rho_p = 10\%$ .

Індекс приміщення:

$$i = AB/h(A + B) = 45 \cdot 40 / 16(45 + 40) = 1,32. \quad (2.8)$$

Знаходимо коефіцієнт використання світлового потоку для знайдених значень коефіцієнтів віддзеркалень і індексу приміщення для світильника УПД по таблиці [21]:  $\eta = 0,46$ .

Необхідна кількість світильників:

$$N = EkSz/\Phi\eta = 150 \cdot 1,15 \cdot 1800 \cdot 1,7 / 190000 \cdot 0,46 = 6,04 \text{ шт.} \quad (2.9)$$

Приймаємо  $N = 7$ .



В разі відключення робочого освітлення в цеху передбачено аварійне від незалежного джерела енергії. Освітленість, що створюється аварійним освітленням, повинна складати не менше 5% від робочої освітленості, але в будь-якому разі не менше 2 лк.

Аварійна освітленість:

$$E_a = 0,05E = 0,05 \cdot 150 = 7,5 \text{ лк.} \quad (2.10)$$

### 2.2.5 Придушення пилових викидів з чавуновозного ковшу

Одна з причин забруднення повітря в доменному цеху – утворення так званого бурого диму в результаті окислення чавуну, що зливається в ківш на ливарному дворі доменної печі. При зливанні металу в ківш утворюється потужний конвективний потік, який створює над розплавом знижений тиск: відбувається підсос холодного повітря, що контактує з дзеркалом розплаву. У зоні контакту струменя з розплавом повітря ежектуються струменем під дзеркало розплаву; при цьому спливаючі бульбашки бурхливо реагують з металом і його домішками, утворюючи над місцем зливу щільний стовп бурого диму, в основному з перегонів оксидів металів.

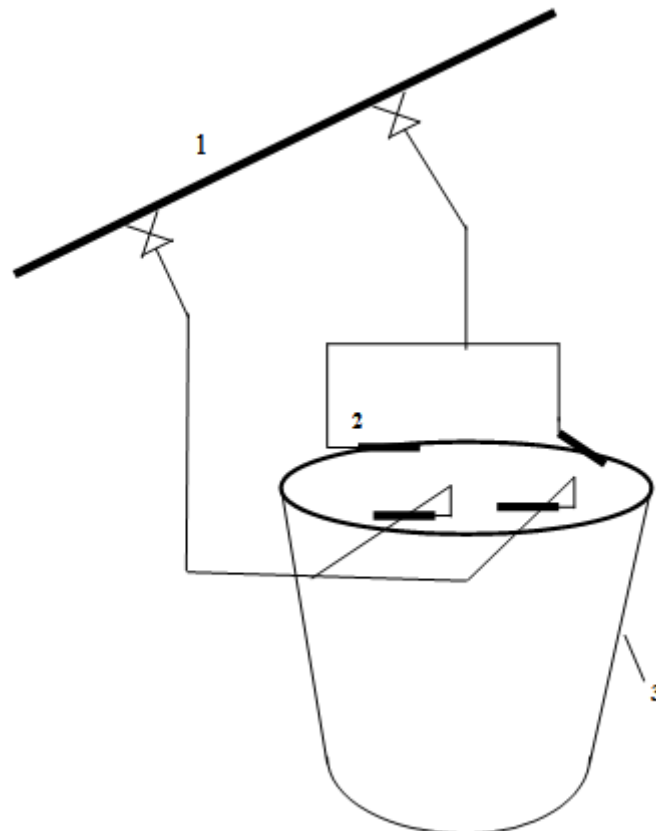
Уловлювання і очищення цих викидів не лише пов'язані із значними витратами, але і технічно важко здійсненні із-за обмеженості площ, наявності рухомих механізмів, необхідності забезпечення доступу обслуговуючого персоналу до агрегатів. Тому ефективніше запобігти окисленню металу і утворенню пилу на ливарному дворі при розливанні чавуну в ковші.

Зменшення пилоутворення (окислення металу) при зливанні чавуну може бути досягнуте спалюванням горючого газу, що подається через розташований над ковшем газорозподільний пристрій. При цьому забезпечується не лише захист (екранування) розплаву, але і хімічне поглинання кисню на горіння [17].

У системах придушення бурого диму як горючий газ використовують природний. У кваліфікаційній роботі пропонується встановити систему, в якій замість природного газу спалюватиметься доменний. Така заміна доцільна, оскільки природний газ дорогий і можливі перебої в його постачаннях, а доменний газ дешевий.

Як газорозподільний використовується сопловий пристрій, оскільки він менш схильний до прогарів від попадання рідкого чавуну, легше замінюється і розміщується над ковшем в різних габаритних ситуаціях.

Система придушення бурого диму обладнана необхідними засобами, що забезпечують безпечні умови експлуатації і контроль робочих параметрів. Конструкція установки довговічна і проста в експлуатації, не вимагає великих витрат і додаткового устаткування. Схема пристрою придушення бурого диму представлена на рис. 2.2.



1 – загальний трубопровід доменного газу; 2 – газове сопло; 3 – ківш.

Рисунок 2.2 – Схема пристрою для придушення пилоутворення при зливанні чавуну в ківш

При зливанні чавуну в ківш пристрій для придушення бурого диму розміщується безпосередньо над ковшем. Через сопла подається доменний газ. Газ може запалюватися запальним пристроєм або займатися при контакті із струменем рідкого чавуну, що зливається в ківш. Потік холодного повітря, рухомий в зону розрідження над ковшем, проходить через факели доменного газу, що горять. При цьому кисень повітря, беручи участь в реакції горіння, окислює компоненти доменного газу, а не розплавлений метал. У контакт із струменем рідкого чавуну і дзеркалом металу вступають вже продукти згорання, що практично не містять кисню.

Необхідна витрата природного газу за практичними даними складає біля  $0,12 \text{ м}^3/\text{с}$  ( $7,2 \text{ м}^3/\text{хв.}$ ) [17].

Таблиця 2.3 – Склад природного газу, об. %

$\text{CH}_4$	$\text{C}_2\text{H}_6$	$\text{C}_3\text{H}_8$	$\text{C}_4\text{H}_{10}$	$\text{C}_m\text{H}_n$	$\text{CO}_2$	$\text{N}_2$
92	3	1	0,3	0,2	0,5	3

Таблиця 2.4 – Склад сухого доменного газу, об. %

$\text{CO}$	$\text{H}_2$	$\text{CO}_2$	$\text{N}_2$
25,1	9,6	17,7	47,6

Густина сухого газу за нормальних умов:

$$\rho_c = \sum a_i \rho_i, \quad (2.11)$$

де  $a_i$  - об'ємна доля і-го компоненту;  $\rho_i$  - його густина.

$$\rho_c = 0,251 \cdot 1,25 + 0,096 \cdot 0,089 + 0,177 \cdot 1,976 + 0,476 \cdot 1,251 = 1,266 \text{ кг/м}^3.$$

Об'ємна доля водяної пари в газі при вологовмісті  $20 \text{ г/кг}$ :

$$H_2O = d/(d + 0,804/\rho_c) \quad (2.12)$$

$$H_2O = 0,02/(0,02 + 0,804/1,266) = 0,03$$

Таблиця 2.5 – Склад вологого газу, об. %

CO	H <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O
24,3	9,3	17,2	46,2	3,0

Теоретичний об'єм повітря, необхідний для спалювання 1 м<sup>3</sup> газу, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>:

$$V_o = 0,0476[0,5CO + 0,5H_2 + 1,5H_2S + \Sigma(m + n/4)C_mH_n - O_2](1 + 0,00124d_B), \quad (2.13)$$

де CO, H<sub>2</sub> і т.д. – вміст відповідних компонентів в газі, об. %; d<sub>B</sub>- вологовміст повітря, зазвичай приймається рівним 10 г/м<sup>3</sup>.

Теоретично необхідний об'єм повітря для спалювання природного газу розраховуємо, приймаючи m ≈ 6, n ≈ 14, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>:

$$V_{оп} = 0,0476[(1 + 4/4)92 + (2 + 6/4)3 + (3 + 8/4)1 + (4 + 10/4)0,3 + (6 + 14/4)0,2](1 + 0,00124 \cdot 10) = 9,8 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

Теоретично необхідний об'єм повітря для спалювання доменного газу, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>:

$$V_{од} = 0,0476[0,5 \cdot 24,3 + 0,5 \cdot 9,3](1 + 0,00124 \cdot 10) = 0,81 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

Витрата доменного газу для придушення пилових викидів з ковша:

$$V_{дг} = V_{пг} V_{оп}/V_{од}, \quad (2.14)$$

де V<sub>пг</sub> = 0,12 м<sup>3</sup>/с – витрата природного газу для придушення викидів [17].

$$V_{дг} = 0,12 \cdot 9,8/0,81 = 1,45 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Таким чином, сопловий газорозподільний пристрій має наступну технічну характеристику:

- кількість сопел - 4;
- тиск доменного газу  $P_d = 60$  кПа;
- витрата доменного газу  $1,45$  м<sup>3</sup>/с;
- швидкість виділення газу з сопла  $v = 50$  м/с.

Знайдемо необхідний діаметр сопла. Витрата доменного газу через одне сопло за робочих умов (температура газу  $t_d = 25^\circ\text{C}$ ), м<sup>3</sup>/с:

$$V_1 = V_d \cdot 101,3(t_d + 273) / (P_d + 101,3) \cdot 273 \quad (2.15)$$

$$V_1 = 1,45 \cdot 101,3(25 + 273) / (60 + 101,3) \cdot 273 = 0,25 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Діаметр сопла:

$$D = 2 \sqrt{\frac{V_1}{\pi v}} \quad (2.16)$$

$$D = 2 \sqrt{\frac{0,25}{3,14 \cdot 50}} = 0,08 \text{ м} = 80 \text{ мм}$$

### 2.2.6 Розрахунок витяжного зонту над льоткою доменної печі

Оскільки одним з шкідливих чинників доменного цеху є теплове випромінювання, для поліпшення умов праці горнового доцільно встановити зонт біля доменної печі. В цьому випадку доцільніше вживання зонту з активним центром (зворотним конусом), в якому використовується ефект налипання висхідних конвективних потоків на зворотний крізний конус. Конвективний потік уловлюється переважно нижнім отвором зворотного конуса, інша частина потоку, яка може вибитися унаслідок рухливості

повітря в приміщенні, налипає на зовнішню поверхню зворотного конуса і уловлюється верхньою кільцевою щілиною.

Знайдемо площу поверхні [17]:

$$F_u = a \cdot b = 1,5 \cdot 2 = 3 \text{ м}, \quad (2.17)$$

де  $a$  і  $b$  – розміри зонти, м.

Коефіцієнт місцевого опору зонту  $\zeta = 1,4$ . Вибираємо висоту розташування зонти  $h = 3$  м. Знайдемо діаметр нижньої кромки зворотного конуса:

$$d_1 = 0,15h + D_{\text{екв}}, \quad (2.18)$$

де  $D_{\text{екв}}$  – еквівалентний діаметр перетину зонти;

$$D_{\text{екв}} = \frac{4 \cdot a \cdot b}{2 \cdot a + b} = \frac{4 \cdot 1,5 \cdot 2}{2 \cdot 1,5 + 2} = 2,4 \text{ м}, \quad (2.19)$$

$$d_1 = 0,15 \cdot 3 + 2,4 = 2,8 \text{ м}.$$

Підбираємо геометричні розміри зонти:

- висота зворотного конуса:

$$h_k = 1 \cdot d_1 = 1 \cdot 2,8 \text{ м}; \quad (2.20)$$

- діаметр верхньої кромки зворотного конуса, виходячи з технологічних міркувань і нерівності  $d_1 < d_2 < h_k + d_1$ :

$$2,8 < d_2 < 5,6,$$

приймаємо  $d_2 = 4$  м;

- підбираємо ширину кільцевої щілини, для цього обчислюємо площу відкритого отвору нижньої кромки зворотного конуса:

$$S_1 = \frac{3,14 \cdot 2,8^2}{4} = 6,2 \text{ м}^2. \quad (2.21)$$

Із співвідношення

$$\frac{S_{\text{щілини}}}{S_1} = \frac{0,3}{1}, \quad (2.22)$$

обчислюємо:

$$S_{\text{щілини}} = \frac{6,2 \cdot 0,3}{1} = 1,8 \text{ м}^2.$$

Визначаємо ширину щілини:

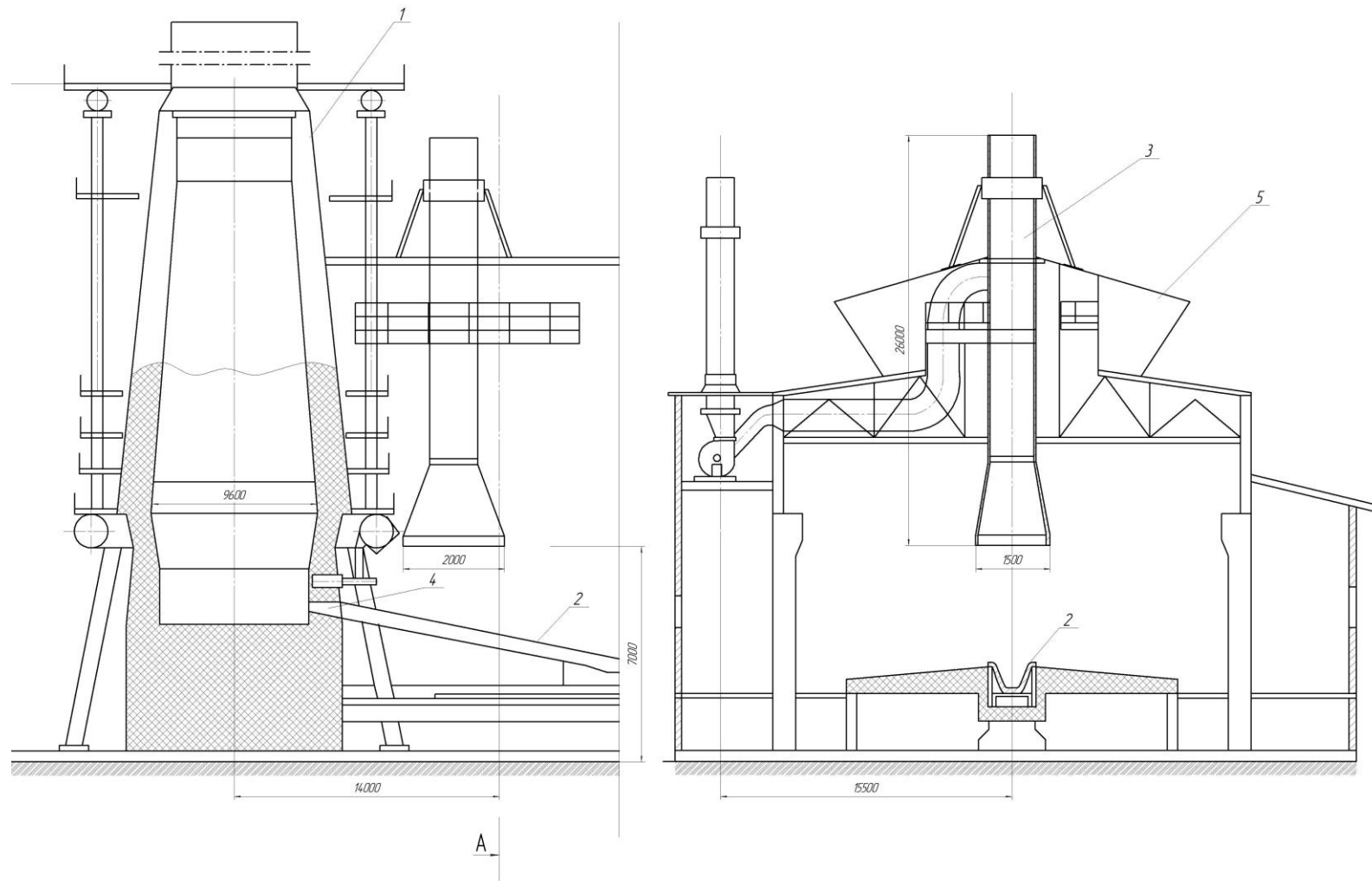
$$\delta = \frac{S_{\text{щілини}}}{\pi \cdot d_2} = \frac{1,8}{3,14 \cdot 4} = 0,1 \text{ м}. \quad (2.23)$$

Приймаємо кут розкриття зонти 60°.

Обчислюємо розмір b:

$$B > 4\delta = 4 \cdot 0,1 = 0,4 \text{ м}, \text{ приймаємо } 0,5 \text{ м}.$$

Витяжний зонт представлений на рис. 2.3..



1 – доменна піч; 2 – головний жолоб; 3 – зонт; 4 – чавунна льотка; 5 – аераційний ліхтар.

Рисунок 2.3 – Витяжний зонт над льоткою доменної печі



## 2.2.7 Екологічна характеристика доменного виробництва

Доменне виробництво можна віднести до одного з «найбрудніших» виробництв, але, з іншого боку, практично всі відходи доменної плавки утилізуються: доменний газ використовується як паливо, шлак використовується в будівництві, колошниковий пил повертається у виробництво.

Доменний (колошниковий) газ утворюється в печі при взаємодії кисню дуття і шихти з вуглецем коксу. Він містить 30...40% горючих компонентів і після очищення використовується як паливо. Нижча робоча теплота згорання доменного газу зазвичай лежить в межах 3...4,5 МДж/м<sup>3</sup>.

Маса пилу, що виноситься доменним газом, складає 20...100 кг/т чавуну. Запиленість доменного газу складає 9...200 г/м<sup>3</sup>. Кількість доменного газу, що утворюється, складає близько 3900 м<sup>3</sup>/т вологого коксу, або 4000 м<sup>3</sup>/т сухого коксу, або 2000...2500 м<sup>3</sup>/т чавуну. Температура газу на виході з печі залежить від її об'єму, температури і складу дуття і інших показників. Вона лежить в межах 150...450°C. Приведені дані відносяться до заводів України.

Доменний газ комбінату «Запоріжсталь» має середній склад (на суху масу), об. %: CO - 25,1, H<sub>2</sub> - 9,6, CO<sub>2</sub> -17,7, N<sub>2</sub> -46,8. Вологовміст 20 г/кг. Середня запиленість на виході з печі - 10...20 г/м<sup>3</sup>. Середня температура на виході з печі 250°C. Печи на комбінаті працюють з підвищеним тиском на колошнику. Доменний газ на виході з печі має тиск 0,3 МПа. Вихід газу від однієї печі складає 150...230 тис. м<sup>3</sup>/год., по комбінату - біля 900 тис. м<sup>3</sup>/год.

Організованим газопиловим викидом в доменному цеху можна вважати вихід доменного газу з печі. Проте доменний газ є горючим вторинним енергоресурсом, токсичним і вибухонебезпечним газом. Через ці причини випуск його в атмосферу виключений. Доменний газ піддається багатоступінчастому очищенню і використовується як паливо.

Доменний газ, що виходить з печі, забруднений пилом. Концентрація – 12...20 г/м<sup>3</sup>. Згідно вимогам, для використання як паливо, газ має бути очищений від пилу до концентрації не більше 10 мг/м<sup>3</sup>. Це необхідно щоб уникнути відкладень в трубопроводах, забивання і зносу пальників.

На багатьох металургійних комбінатах України («Запоріжсталь», «Криворіжсталь», «Азовсталь» і ін.) в даний час діє мокра багатоступінчаста схема очищення доменного газу. Розглянемо цю схему на прикладі ВАТ «Запоріжсталь». Первинне, грубе очищення здійснюється в сухому радіальному пиловловлювачі, що є циліндром з конічним бункером. Діаметр циліндрової частини 11м. Забруднений доменний газ підводиться зверху. Швидкість газів в трубі, що підводить, близько 10 м/с, в корпусі пиловловлювача - не більше 1 м/с. Осадження пилу відбувається при різкому повороті газового потоку на 180° при вході з труби в корпус пиловловлювача і потім при підйомі газів з малою швидкістю до вихідного штуцера. Ефективність очищення складає 65...85% .

Пил з сухого пиловловлювача періодично віддаляється за допомогою шнека, змочуваного водою, в залізничні вагони.

Запиленість газу після першого ступеню складає 3...10 г/м<sup>3</sup> [19].

Другий, напівтонкий рівень очищення здійснюється в апараті мокрого очищення – порожнистому форсунковому скрубєрі. Цей апарат є циліндровою баштою з конічним бункером внизу. Діаметр циліндрової частини - 6м, висота - 16м. Газ підводиться знизу. У верхній частині апарату встановлено три яруси евольвентних форсунок, призначених для розбризкування води. Вода подається під тиском 0,5...0,6 МПа. Ефективність очищення складає 60...80%. Газ очищається до залишкового вмісту пилу на виході 0,6...1,5 г/м<sup>3</sup> . Питома витрата води на скрубєр складає 3...6 кг/м<sup>3</sup> газу. Доменний газ, що проходить через скрубєр, охолоджується до 40...50°C і повністю насичується водяними парами.

Після порожнистого скрубєра газ поступає в скрубєр Вентурі. Тут здійснюється тонке очищення газу. Скрубєр Вентурі є трубою Вентурі з

краплевловлювачем. Труба Вентурі складається з конфузору, горловини і дифузору. Потік газу в горловині рухається із швидкістю 70...100 м/с. Вода, що вводиться у високошвидкісний потік газу, дробиться на дрібні краплі. Висока міра турбулентності газового потоку сприяє дробленню рідини і зіткненням часток пилу з краплями води. Краплі, разом із захопленими частками пилу, потім уловлюються у краплевловлювачі.

Ефективність очищення газу в скрубєрі Вентурі складає 98...99% [19].

Завершується процес тонкого очищення доменного газу в дросельній групі. Основне призначення цього апарату – дроселювання газу. При цьому підтримується підвищений тиск на колошнику і в системі газоочистки, а до споживачів газ поступає із зниженим тиском.

Дросельна група є перегородкою в трубопроводі доменного газу, забезпеченою декількома отворами, що калібруються, - дроселями. Встановлюється, наприклад, 3 регульованих дроселя діаметром 750 мм і один нерегульований діаметром 400 мм. Принцип роботи дросельної групи як газоочисного апарату аналогічний принципу роботи труби Вентурі. Основна відмінність полягає в тому, що в трубі Вентурі близько 80% енергії тиску газу відновлюється в дифузорі, тоді як в дросельній групі енергія не відновлюється, а витрачається для турбулентного перемішування потоків газу і води.

До кожного дроселя підведені патрубки з бризгалами, через які подається вода. Велика швидкість газу в дросельному пристрої, зволоження і різка зміна його напрямку сприяє виділенню з газового потоку часток пилу і їх коагуляції. Це забезпечує хороші умови для подальшого уловлювання крапель води з пилом в краплевловлювачах.

При очищенні доменного газу на комбінаті використовується схема замкнутого обігу води. Шламова вода після порожнистого форсуночного скрубєра, скрубєра Вентурі і дросельної групи містить зважені частки і нагріта до температури 60...70°C. Ця вода по відкритому лотку, а потім по трубопроводу поступає на насосну шламової води, звідки перекачується в

радіальні відстійники. Тут відбувається осадження зважених часток. Очищена від механічних домішок (освітлена) вода поступає на вентиляторну градирню для охолодження.

У градирні вода розбризкується за допомогою форсунок і у вигляді крапель падає з висоти близько 8 м. Для інтенсифікації процесу охолодження у верхній частині градирні змонтовані вентилятори, що створюють зустрічний потік повітря.

Для подачі води знов в систему газоочистки передбачена ще одна насосна станція - насосна освітленої води.

системі замкнутого водообігу частина води втрачається зі шламом і при випарі в лотку, відстійниках і особливо у градирні. Ці втрати безперервно заповнюються підживлячою водою.

Вологий шлам після відстійників поступає на фільтр-преси, де його вологість знижується приблизно до 10%, і вивозиться у відвал.

Описаній схемі очищення доменного газу властиві як достоїнства, так і недоліки. До достоїнств можна віднести простоту конструкції, надійність роботи апаратів очищення. Їх обслуговування не вимагає високої кваліфікації персоналу. Дана схема може працювати з газами високої температури і великої вологості, витрата газів може мінятися в широких межах. Вживання замкнутого водообігу дозволяє уникнути забруднення водоймищ.

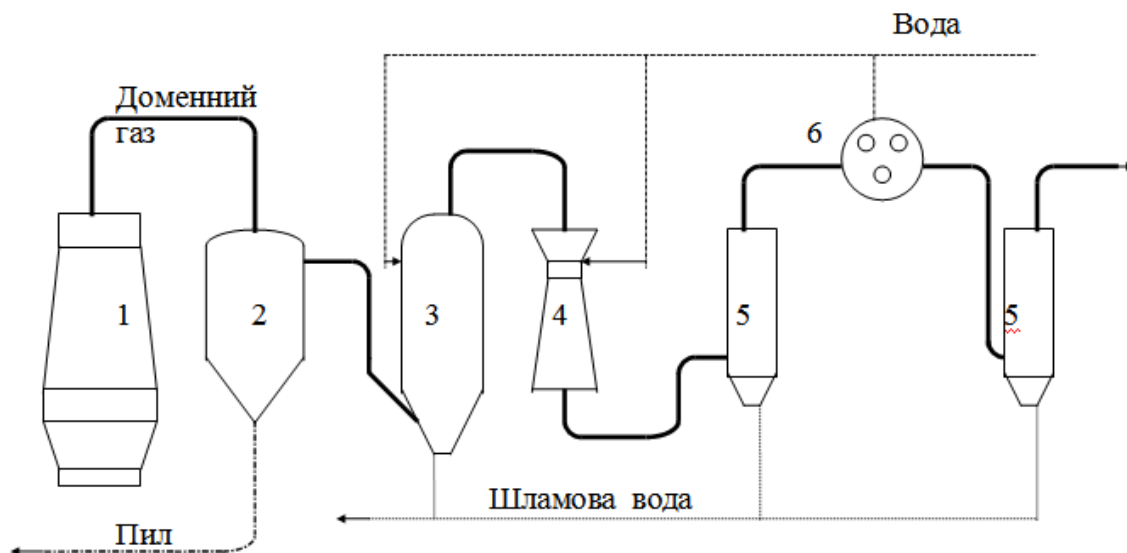
В той же час, в схемі є і істотні недоліки. Здобуття уловленого продукту у вигляді шламу утрудняє його подальшу переробку. Високий корозійний знос устаткування наводить до частих ремонтів. Апарати газоочистки (сухий пиловловлювач, порожнистий скрубєр) громіздкі і металоємні.

Організація оборотного циклу водопостачання вимагає великих площ, великої кількості всілякого устаткування, значних капітальних і експлуатаційних витрат. На циркуляцію води в системі, на створення підвищеного тиску у форсунок витрачається багато електроенергії в насосних станціях.

Теплова енергія доменного газу витрачається в апаратах мокрого очищення на нагрів води, а потім безповоротно втрачається у градирні. Енергія надлишкового тиску доменного газу також безповоротно втрачається в дросельній групі.

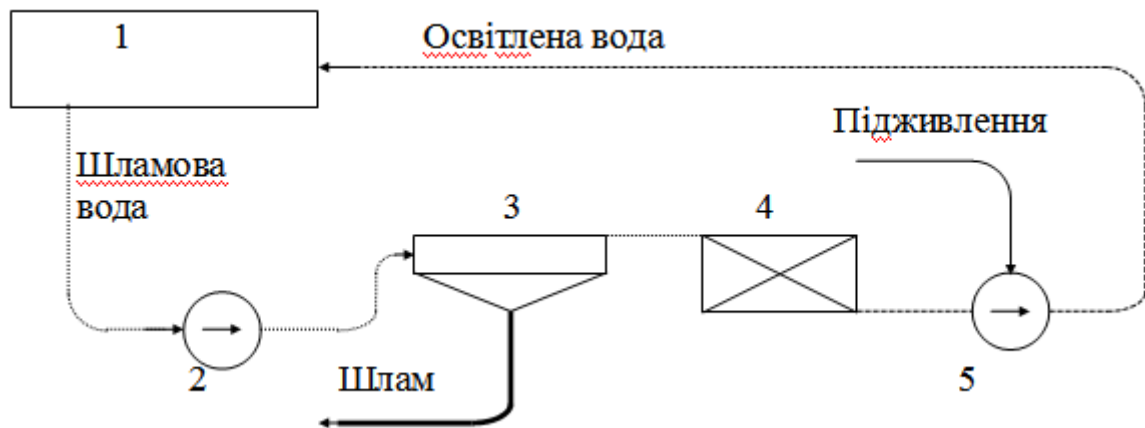
Тепловміст доменного газу можна ефективно утилізувати в газовій утилізаційній безкомпресорній турбіні (ГУБТ). Проте, встановлювати таку турбіну після апаратів мокрого очищення газу не можна. Газ, який пройшов такі апарати, насичений водяними парами, які при розширенні газу в турбіні конденсуватимуться. Крапельки вологи, ударяючись об рухомі з великими швидкостями лопатки турбіни, викличуть їх швидкий ерозійний знос. Тому, при використанні мокрої системи очищення, газ перед ГУБТ необхідно підігрівати. Звичайно це роблять, спалюючи частину очищеного доменного газу і змішуючи продукти згорання з основним потоком газу. При цьому знижується теплота згорання, і так досить низька в доменного газу.

Схема очищення доменного газу представлена на рис. 2.4, схема замкнутого циклу водообігу доменної газоочистки – на рис. 2.5.



1 – доменна піч; 2 – сухий пиловловлювач; 3 – порожнистий форсуночний скруббер; 4 – труба Вентурі; 5 – краплевловлювачі; 6 – дросельна група.

Рисунок 2.4 – Схема очищення доменного газу



1 – газоочистка; 2 – насосна станція шламової води; 3 – радіальний відстійник; 4 – вентиляторна градирня; 5 – насосна станція освітленої води.

Рисунок 2.5 – Схема замкнутого водооборотного циклу

## РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА ЗАХОДІВ З ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКИ ДОМЕННОГО ЦЕХУ

### 3.1 Характеристика виробничих приміщень доменного цеху

Доменний цех є крупним споживачем електроенергії і має розвинене електрогосподарство. Велика кількість електроенергії йде на привід різних агрегатів: скіпового підйомника, вагон-ваг, механізмів колошника, мостових і козлових кранів, вентиляторів системи аспірації, вентиляторів, що подають повітря на пальники повітронагрівачів і так далі

Приміщення доменного цеху мають наступні характеристики [22]. Ливарний двір і піддоменник – сухі, жаркі, пильні. Відносна вологість повітря менше 60%, температура повітря 32...40°C, струмопровідний пил (містить в основному оксиди заліза і графіт), виділяється в основному при випуску і розливанні чавуну і шлаку.

Підбункерні приміщення – пильні. Це обумовлено тими технологічними процесами, які тут відбуваються (дозування, вантаження сировини до скіпів і так далі)

Приміщення пультів управління доменною піччю і пультів управління газоочисткою можна віднести до приміщень з нормальним середовищем.

По небезпеці поразки струмом всі виробничі приміщення згідно ПБЕ [23] підрозділяють на три категорії: з підвищеною небезпекою поразки струмом; особливо небезпечні; без підвищеної небезпеки.

До приміщень без підвищеної небезпеки відносяться в доменному цеху приміщення пультів управління, кімнати відпочинку.

До приміщень з підвищеною небезпекою відносяться приміщення майстерень (струмопровідні підлоги).

До особливо небезпечних відносяться ливарний двір і піддоменник (висока температура повітря і струмопровідний пил), підбункерні приміщення (струмопровідний пил, можливість одночасного дотику до

металевих корпусів електроустаткування з одного боку і до металоконструкцій, що мають контакт із землею, з іншого боку).

Зони, в яких розміщується електроустаткування, можуть відноситися до вибухо- і пожежонебезпечних класів. Вибухонебезпечні зони підрозділяються на класи: В-1, В-1а, В-1б, В-1г, В-ІІ, В-ІІа. Пожежонебезпечні зони підрозділяються на класи: П-1, П-ІІ, П-ІІа, П-ІІІ [23].

У доменному цеху до пожежонебезпечної зони класу П-ІІ відносяться підбункерні приміщення, оскільки тут виділяється горючий пил (коксівний) з нижньою концентраційною межею займання більше  $65 \text{ г/м}^3$ .

До зони класу П-ІІа відносяться кабельні галереї, приміщення пультів управління (зони, розташовані в приміщеннях, в яких обертаються тверді горючі речовини - пластмаси, дерево, гума).

Простір в зовнішніх установок очищення доменного газу відноситься до вибухонебезпечної зони класу В-1г. Для зовнішніх технологічних апаратів, що містять горючі гази (до них відносяться сухий радіальний пиловловлювач, рукавний фільтр) вибухонебезпечна зона класу В-1г вважається в межах до 3 м по горизонталі і вертикалі.

Зони, розташовані в ливарному дворі і піддоменнику не відносяться до вибухо- і пожежонебезпечних, оскільки тут звертаються речовини в розплавленому стані і використовується кокс як паливо.

### **3.2 Характеристика електромережі для живлення виробничого устаткування**

У доменному цеху є споживачі змінного струму напруги 380/220 В і напруги 6000 В. При напрузі до 1000 В в Україні застосовуються дві схеми мереж змінного трифазного струму (50 Гц): чотирипровідна мережа з глухозаземленою нейтраллю і трипровідна мережа з ізольованою нейтраллю.

Для живлення виробничого устаткування в доменному цеху застосовують чотирипровідну мережу трифазного струму з глухозаземленою



нейтраллю напругою 380/220 В.

У такій мережі заземлення нейтралі джерела струму (генератора, трансформатора) здійснюють з'єднанням її із заземлювачем безпосередньо або через малий опір (наприклад, через трансформатор струму) - тому таку мережу прийнято називати мережею з глухозаземленою нейтраллю. Мережа має три фазні дроти і один нульовий дріт.

За технологією вживання чотирипровідної мережі переважно, оскільки вона дозволяє використовувати дві напруги – лінійну і фазну. У мережі 380/220 В можна використовувати силове навантаження – трифазне і однофазне, включаючи їх між фазами, і освітлювальне - включаючи його між фазою і нульовим дротом.

За нормального режиму роботи безпечніша трипровідна мережа з ізолюваною нейтраллю, а за аварійного режиму – чотирипровідна з глухозаземленою нейтраллю. Тому мережі з ізолюваною нейтраллю доцільно застосовувати тоді, коли є можливість підтримувати високий рівень ізоляції дротів і ємність дротів відносно землі мала. Це короткі мережі, не підвладні до дії агресивного середовища і що знаходяться під постійним наглядом. Мережі з глухозаземленою нейтраллю застосовуються там, де неможливо забезпечити хорошу ізоляцію дротів (вологість, агресивне середовище, протяжність), коли не можна швидко відшукати або усунути пошкодження ізоляції, при великій ємності дротів відносно землі.

Оскільки електричні мережі, вживані в доменному цеху, мають чималу довжину, на них впливає агресивне середовище, то важко забезпечити їх надійну експлуатацію, у тому числі ізоляцію. Тому використання трипровідної мережі з ізолюваною нейтраллю виключається.

При напрузі вище 1000 В застосовується трипровідна мережа з ізолюваною нейтраллю, оскільки при такій напрузі немає необхідності в четвертому дроті. У доменному цеху для живлення електродвигунів потужністю більше 200 кВт використовується напруга 6000В (трифазні асинхронні короткозамкнуті вибухозахищені двигуни серії ВАО).

Для штучного освітлення повинна застосовуватися мережа з напругою не більше 220 В, у виняткових випадках - 380 В [24]. У доменному цеху для цієї мети використовується напруга 220 В. Освітлювальні прилади включаються між фазним і нульовим дротом мережі трифазного струму.

На деяких ділянках доменного цеху при виконанні різних робіт виникає необхідність вживання ручного електрифікованого інструменту, переносних світильників. При виконанні таких робіт зростає небезпека поразки струмом - людина може виявитися під напругою унаслідок пробією ізоляції. Для забезпечення безпеки при користуванні переносними світильниками місцевого і ремонтного освітлення застосовують знижену напругу. У приміщеннях без підвищеної небезпеки – 42 В, в приміщеннях з підвищеною небезпекою і особливо небезпечних – 12 В. Джерелами малої напруги служать понижувальні трансформатори.

Електрифікований ручний інструмент поділяється на 3 класи [25]:

1 клас – машини з ізоляцією всіх деталей, що знаходяться під напругою, штепсельна вилка має заземлюючий контакт;

2 клас – машини, в яких всі деталі, що знаходяться під напругою, мають подвійну або посилену ізоляцію; ці машини не мають пристроїв для заземлення;

3 клас – машини, призначені для живлення від автономного джерела або від загальної мережі через розділяючий трансформатор.

Інструмент 1 і 2 класів працює від мережі 380/220 В, напруга для машин 3 класу має бути в приміщеннях без підвищеної небезпеки - не більше 42 В, в приміщеннях з підвищеною небезпекою і особливо небезпечних - не більше 12 В.

Особливо ефективно в ручному електроінструменті вживання подвійної електроізоляції. При цьому має місце робоча ізоляція - ізолюються дроти усередині корпусу, і додаткова - ізолюється сам корпус.

Ручні електричні машини забороняється застосовувати у вибухонебезпечних приміщеннях і в приміщеннях з хімічно активним

середовищем.

При роботі з машиною 1 класу необхідно застосовувати індивідуальні електрозахисні засоби. Машинами 2 і 3 класів дозволяється працювати без вживання електрозахисних засобів [26].

### 3.3 Електроустаткування і електропроводка

Залежно від умов експлуатації в промисловості використовують електричні машини і апарати різного виконання: відкриті, захищені, краплезахищені, бризказахищені, закриті, такі, що обдуваються, продуваються, пиленепроникні.

У зонах, де можливе утворення вибухонебезпечної суміші, застосовують машини і апарати у вибухозахищеному виконанні. Виконання електроустаткування диктує перш за все клас вибухо- або пожежонебезпечної зони. У зонах класу В-1г, які мають місце в доменному цеху, встановлюють електроустаткування підвищеної надійності проти вибуху [26] – 2 рівень вибухозахисту. Вид вибухозахисту - е (захист виду «е»), ed (захист вигляду «е» і вибухонепроникна оболонка), di (вибухонепроникна оболонка і іскробезпечний електричний ланцюг).

Вибухонебезпечну суміш з повітрям в даному випадку може утворити доменний газ. Виходячи з цього, підбирається група і температурний клас устаткування. Група устаткування - II, підгрупа IIА (суміш має безпечний експериментальний максимальний зазор - БЕМЗ - зазор, через який не може пройти полум'я) більше 0,9 мм. Температурний клас електроустаткування - T1, відповідний газоповітряній суміші, що має температуру самозаймання >450°C. Відповідно маркірування вживаного вибухозахищеного устаткування: 2ExeIIAT1, 2ExedIIAT1, 2ExdiIIAT1.

У вибухонебезпечних зонах рекомендується застосовувати асинхронні електродвигуни серії ВАО (вибухозахищені, асинхронні, такі, що

обдуваються) і трифазні асинхронні двигуни серії А2П, що продуваються під надлишковим тиском.

У підбункерних приміщеннях (зона класу П-П) все електроустаткування має бути закритого виконання з мінімально допустимою мірою захисту оболонок IP44 для стаціонарних машин і IP54 для пересувних механізмів [26].

У зонах класу П-Па (пульти управління, кабельні тунелі і галереї) електроустаткування допускається застосовувати закритого і захищеного виконання. Захищене електроустаткування має пристосування для оберігання від випадкового дотику до струмоведучих і рухомих частин і від попадання всередину сторонніх предметів. Закрите електроустаткування має оболонку, що відділяє їх внутрішню порожнину від зовнішнього середовища. Сполучення між внутрішньою порожниною і зовнішнім середовищем можливо лише через нещільність з'єднань між частинами електроустаткування. У зонах класу П-Па допускається міра захисту оболонок не менше IP44 [26].

У пожежонебезпечних зонах допускається відкрита електропроводка по конструкціях, що не згорають, ізольованими дротами марок АППР, АПВ, АППВ, проводка в сталевих трубах дротом марок ПРТО, АПРТО, в пустотних каналах будівельних конструкцій, що не згорають, дротами АПВ і ПВ. Вживання неізольованих дротів заборонене.

У пожежонебезпечних зонах можуть застосовуватися пускові апарати, прилади, шафи і складання затискачів, що продуваються чистим повітрям під надлишковим тиском, а також апарати і прилади в маслонаповненого виконання (за винятком кисневих установок і підймальних механізмів).

У ливарному дворі і піддоменнику електроустаткування застосовується закрите і таке, що обдувається (закриті апарати, забезпечені вентиляційним пристроєм для обдування їх зовнішньої частини).

ля передачі і розподілу електроенергії по території і у виробничих приміщеннях прокладають електричні кабелі. Для живлення стаціонарних

установок (силових і освітлювальних) використовують броньовані кабелі з алюмінієвою або свинцевою оболонкою. Силові кабелі прокладають в металевих трубах під землею в спеціально влаштованих кабельних каналах, колекторах, тунелях. У виробничих приміщеннях кабелі прокладають відкрито по стінах, перекриттях, металоконструкціях.

Кабелі, прокладені на внутрішніх стінах робочого майданчика доменної печі, захищаються від прямої дії розплавленого металу і газів.

У кабелях і дротах використовуються мідні, алюмінієві і сталєалюмінієві жили [26].

### **3.4 Захисне занулення**

У мережі із глухозаземленою нейтраллю звичайне заземлення електроустаткування не забезпечує належної безпеки. Струм, що проходить через тіло людини при дотику до частин електроустановки, що випадково виявилися під напругою, може досягати небезпечних величин навіть за наявності захисного заземлення.

Небезпека поразки струмом при дотику до металевих неструмоведучих частин електроустаткування, що виявилися під напругою в результаті замикання на корпус або по інших причинах, може бути усунена швидким відключенням пошкодженої електроустановки від живлячої мережі і в той же час зниженням напруги корпусу відносно землі. Принцип дії занулення – перетворення замикання на корпус в однофазне коротке замикання (тобто замикання між фазним і нульовим захисним провідником) з метою викликати великий струм, здатний забезпечити спрацьовування захисту і тим самим автоматично відключити пошкоджену установку від мережі.

### **3.5 Захисне відключення**

Захисне занулення забезпечує захист від струму при дотику до корпусу устаткування, що випадково виявився під напругою. Проте занулення не

захищає від дотику до фазного дроту з порушеною ізоляцією.

Для захисту у разі дотику до струмоведучої частини, що знаходиться під напругою, у кваліфікаційній роботі пропонується використовувати пристрій автоматичного відключення, що реагує на струм нульової послідовності. Такий пристрій забезпечує відключення також і в разі дотику до заземленого (зануленого) корпусу при замиканні на нього фази.

Принцип дії пристрою – швидке відключення ділянки мережі або споживача енергії, якщо струм нульової послідовності перевищує деяке значення, при якому напруга дотику до струмоведучої частини має найбільше тривале допустиме значення  $U_{\max}$ .

Датчиком пристрою може служити трансформатор струму нульової послідовності (ТСНП), магнітопровід якого охоплює всі дроти мережі, що грають в цьому випадку роль первинних одновиткових обмоток трансформатору (рис. 3.1). В результаті магнітні потоки, що створюються в магнітопроводі ТСНП струмами первинних обмоток, складаються, а сумарний потік обумовлює виникнення струму у вторинній обмотці ТСНП, що замикається через обмотку реле.

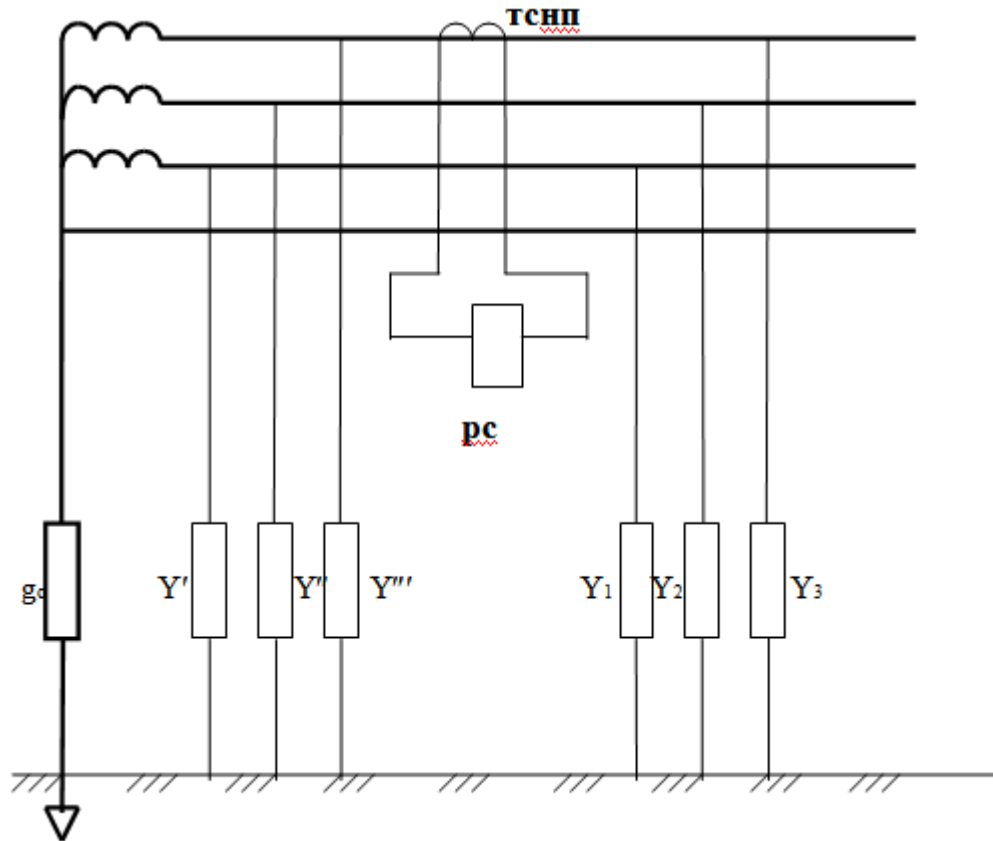
Якщо на ділянці провідності фаз, що захищається, відносно землі однакові, то сума струмів, які проходять по фазних дротах мережі, а отже, і струм через реле дорівнюють нулю:

$$I_1 + I_2 + I_3 = 0; \quad I_r = 0 \quad (3.1)$$

Якщо на ділянці, що захищається, виникає асиметрія провідності фаз відносно землі у результаті, наприклад, замикання фази на землю, дотику людини до фази тощо, то приведена рівність порушується, оскільки з'являється струм нульової послідовності  $I_0$  і через реле проходить струм  $I_p$ , пропорційний його значенню:

$$I_p = I_0/k, \quad (3.2)$$

де  $k$  – коефіцієнт трансформації ТСНП (відношення первинного струму до вторинного).



ТСНП – трансформатор струму нульової послідовності; РС – реле струму;  $Y_1, Y_2, Y_3$  – провідність відносно землі ділянок дротів, що знаходяться в зоні захисту;  $Y', Y'', Y'''$  - те ж поза зоною захисту;  $g_0$  – провідність заземлення нейтралі.

Рисунок 3.1 – Схема мережі з ТСНП

Цей струм, досягнувши значення струму спрацьовування реле або перевищивши його, викличе відключення ділянки мережі, що захищається, від джерела живлення.

Умова безпеки при дотику до струмоведучої частини, що знаходиться під напругою (або до незаземленого і незануленого корпусу в період

замикання на нього фази) виражається рівнянням:

$$U_{\max} \geq I_h R_h, \quad (3.3)$$

де  $U_{\max}$  – найбільша тривало допустима напруга дотику, В;

$I_h$  - струм, що проходить через тіло людини, А;  $R_h$  - опір тіла людини, Ом.

Уставкою (струмом спрацьовування, на який налаштовується прилад) в даному випадку буде деяке значення струму нульової послідовності  $I_y$ , при якому струм, що проходить через людину в землю, не перевищує тривало допустимого струму, або струму, при якому напруга дотику не перевищує тривало допустиму:

$$I_y = k_0 U_{\max}/R_h, \quad (3.4)$$

де  $k_0$  – коефіцієнт, що визначає співвідношення між провідністю відносно землі ділянок мережі, що знаходяться по обидві сторони ТСНП.

Оскільки провідність ділянки мережі, що знаходиться в зоні захисту для мережі з глухозаземленою нейтраллю близька до нуля, а провідність незахищеної ділянки завжди досить велика (за рахунок провідності заземлення нейтралі джерела струму), то можна прийняти  $k = 1$ .

Рахуючи  $U_{\max} = 36$  В, а опір тіла людини  $R_h = 1000$  Ом, отримуємо:

$$I_y = 36/1000 = 0,036\text{А} = 36\text{мА}.$$

Перевагами установок захисного відключення, що реагують на струм нульової послідовності, є: можливість вживання в мережах будь-якої напруги з різними режимами нейтралі; здатність забезпечувати безпеку людини при дотику не лише до корпусу, що виявився під напругою, але і до фазного дроту мережі; висока надійність роботи, тобто мала кількість помилкових відключень; незалежність роботи пристрою від значень опору заземлення і опору нульового провідника. Остання перевага має важливе значення в тих випадках, коли неможливо заземлити нейтраль трансформатора, корпуси



електроустаткування або нульовий провідник через малий опір або коли із-за віддаленості споживача опір нульового захисного провідника виявляється вище нормованих значень.

Недоліки пристрою – нечутливість до симетричних знижень опору ізоляції, які, проте, трапляються рідко. Для установки вибираємо пристрій захисного відключення РУД-05-УЗ [26].

### **3.6 Електричне блокування**

Одним із захисних заходів при виникненні небезпеки поразки людини струмом є блокування. Принцип дії блокування – відключення електроустановки при виникненні небезпечної ситуації. До таких ситуацій відносяться: проникнення людини за обгороджування відкритих струмоведучих частин, всередину працюючої електроустановки, рух електричного механізму за межі допустимої зони, неправильне управління агрегатом і тому подібне. Розрізняють механічні і електричні блокування. Електричні блокування розривають ланцюг контактами, встановленими на дверях обгороджувань, кришках, дверцях кожухів. Блокування повинне включатися в ланцюг управління, але не в силовий ланцюг. Для розмикання застосовують магнітні пускачі, контактори. При механічному блокуванні включення напруги можливе лише при закритому замку або клямці, які механічно пов'язані з вимикачем.

У кваліфікаційній роботі пропонується встановити електричне блокування на вагон-вагах. Одній з основних небезпек при експлуатації вагон-ваг є наїзди вагон-ваг на робітників у підбункерному приміщенні. Аби усунути придавлення робочих до затворів бункерів, вагон-ваги треба обладнати блокуванням, що запобігає можливості їх руху тоді, коли робітники знаходяться на передніх або на задніх нижніх майданчиках вагон-ваг.

## РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА ЗАХОДІВ З ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ ДОМЕННОГО ЦЕХУ

### 4.1 Характеристика доменного виробництва за пожежною небезпекою

Основні причини пожеж в доменних цехах: несправність або неправильна експлуатація електроустаткування; попадання рідких продуктів плавки на горючі матеріали; вибухи доменного газу при його витоках.

У доменному цеху обертаються наступні речовини, небезпечні в пожежному відношенні.

1. Доменний газ (область займання 46...68%, температура самозаймання 500...600°C); утворюється в процесі доменної плавки, застосовується в суміші з природним для опалювання повітрянагрівачів [27].

2. Природний газ (область займання 5...17%, температура самозаймання 530°C); застосовується для опалювання повітрянагрівачів, додається в доменне дуття [28].

3. Мінеральні мастила (температура спалаху 150...180°C); застосовуються в системах змащення і гідроприводу різних механізмів [29].

4. Кокс (температура займання 400°C, температура самозаймання 550°C); використовується в доменному процесі як паливо і відновник [30].

Певну пожежну небезпеку представляє наявність рідкого чавуну і шлаку.

У доменному виробництві до найбільш небезпечної категорії А відносяться газорозподільні і газорегуляторні пункти (вибухопожежонебезпечні приміщення) [27].

До категорії Б (вибухопожежонебезпечна) в цеху відносяться приміщення подачі пиловугільного палива в піч, закриті галереї для транспортування вугілля.

До категорії В відносяться підбункерні приміщення, склади масел,

приміщення масляних трансформаторів, маслотунелі гідравлічних систем, електрокабельні приміщення (пожежонебезпечні).

До категорії Г відносяться ливарний двір і піддоменник, а категорії Д - склади руди, приміщення щитів управління, механічні і електроремонтні майстерні.

Умови поширення пожежі в будівлях залежать не лише від вибухопожежної і пожежної небезпеки приміщень, але і від ступеню вогнестійкості будівель і споруд, межі вогнестійкості будівельних конструкцій.

Вогнестійкість будівельних конструкцій – їх властивість зберігати несучу і захищаючу здатність в умовах пожежі. Відповідно до [27] є 8 ступенів вогнестійкості будівель і споруд (I, II, III, IIIa, IIIб, IV, IVa, V), які характеризуються межами вогнестійкості основних будівельних конструкцій.

Ступінь вогнестійкості будівлі доменного цеху – IIIa (будівлі переважно з каркасною конструктивною схемою. Елементи каркаса - із сталевих незахищених конструкцій. Конструкції, що захищають, - із сталевих профільованих листів або інших негорючих листових матеріалів з важкогорючим утеплювачем [27]).

Допускається в будівлі застосовувати гіпсокартонні листи для облицювання металевих конструкцій з метою підвищення їх межі вогнестійкості. Для виділення робочих місць в межах приміщення допускається застосовувати перегородки з ненормованими межами вогнестійкості і межами поширення вогню. Ці перегородки можуть бути заклені або з сіткою при висоті глухої частини не більше 1,2 м, збірно-розбірні і розсувні.

## **4.2 Протипожежні заходи**

Для попередження утворення вибухонебезпечних сумішей в міжконусному просторі доменної печі в нього подають пару або інертний газ

(наприклад, азот). подача пари або газу блокується із завантажувальним пристроєм, аби без подачі пари (газу) в міжконусний простір механізм завантаження не працював.

У фундаментів доменних печей не можна складати які-небудь горючі матеріали, відходи виробництва. Дахи і навіси ливарних дворів повинні регулярно очищатися від пилу.

Перш ніж вдувати в доменну піч пилоподібне паливо або мазут, треба переконатися в справності відсікаючої і замкової апаратури і контрольно-вимірювальних приладів.

Горючі гази в трубопроводах і устаткуванні створюють вибухопожежні ділянки в доменному виробництві. Найбільш вірогідні місця загоряння газу - нещільність в з'єднаннях, яка пропускає газ; погано провітрювані приміщення, де знаходиться апаратура під тиском; газові тракти з горючим газом, при попаданні в яких повітря (зважаючи на зниження тиску або припинення подачі газу) утворюється вибухонебезпечна суміш. небезпека вибуху газу зростає при зупинці печі, оскільки при цьому з неї припиняється вихід газу, а газ, що залишився в мережі, охолоджується і зменшується в об'ємі, створює розрідження, що викликає приплив повітря. Щоб уникнути вибуху при зупинці печі в газові тракти повинна подаватися пара.

Гасіння пожежі на трактах подачі газу може здійснюватися наступними способами: відривом полум'я сильними струменями води, пари, стислого повітря або азоту; закладенням місця прориву газу густим розчином глини, сіткової маси; забиванням пробки в отвір, який пропускає газ, і карбівкою отвору азбестом; накладенням пластиру з азбестового полотна з одночасним рясним змочуванням водою, зниженням тиску газу до 500 Па; заповненням газопроводу парою. Після закінчення гасіння газового полум'я необхідно забезпечити припинення виходу газу в атмосферу щоб уникнути її отруєння і утворення вибухонебезпечної суміші.

У вибухонебезпечних приміщеннях електричне устаткування, прилади, світильники встановлюються у вибухозахищеному виконанні. Недопустима

самовільна заміна світильників, вимикачів і іншого електроустаткування, оскільки це може привести до вибуху.

Щоб уникнути пожежі на газових комунікаціях забороняється: користуватися факелом для відігрівання газопроводу і замкової арматури, а також для визначення місця витoku газу; застосовувати дерев'яні пробки для закриття штуцерів і отворів на газопроводах; витратити газ в разі падіння його тиску в газопроводі до значення  $<500$  Па; складати поблизу газопроводу горючі матеріали; підпалювати газ, що випускається при продуванні газопроводу.

На ділянках шихтоподачі щоб уникнути загоряння транспортерних стрічок не допускається приймати неохоложені шихтові матеріали (агломерат, кокс і ін.) з температурою вище  $100^{\circ}\text{C}$ .

При вдуванні в піч мазуту водопровідник і газівник повинні стежити за роботою мазутовдуваючої установки по приладах і візуально, а в разі несправності або відхилення від заданого режиму доповісти майстрові і прийняти заходи по усуненню неполадки. Необхідно стежити, аби мазут поступав в горн через визначені фурми. При появі на фурмах шлаку слід негайно відключити їх від мазутопроводу. Не можна допускати попадання мазуту на робочий майданчик печі. При появі витoku мазуту слідує негайно його усунути.

Необхідно стежити, аби мазут постійно циркулював по трубопроводах і не допускати падіння його температури нижче  $70^{\circ}\text{C}$ . При зниженні температури слід перевірити наявність пари в паропідігрівачі. Не можна проводити які-небудь роботи на арматурі, приладах і мазутопроводах, що знаходяться під тиском. Розлитий на підлозі мазут має бути негайно засипаний піском і прибраний в ящики для сміття.

Ковші для чавуну і шлаку повинні подаватися лише сухими. Щоб уникнути виплеску чавуну і шлаку ковші не доливають до верхньої кромки на відстань, вказану в цеховій інструкції.

Електрокабельне господарство має бути надійно захищене від

попадання розплавленого чавуну і шлаку.

Для будівель до 6 поверхів категорії Г, ступеню вогнестійкості Ша площа поверху в межах пожежного відсіку не обмежується [27], тобто в протипожежних стінах немає необхідності.

Протипожежні розриви між будівлею доменного цеху і довколишніми будівлями і спорудами складають: для будівель і споруд I і II ступеню вогнестійкості - 9м, III, Ша і ШБ - 12м, для останніх – 15м [27].

Найбільша відстань до евакуаційного виходу не обмежується [27].

### **4.3 Засоби і способи гасіння пожеж**

У доменом цеху можливі пожежі класів А (тверді горючі речовини), В (рідини), С (горючі гази) і Е (електроустановки під напругою).

Найбільш поширеним засобом боротьби з вогнем при пожежах класу А є вода.

Будівля доменного цеху відноситься до категорії Г і має ступінь вогнестійкості Ша. Для таких будівель зовнішнє пожежогасіння не передбачено [28].

Розрахункова кількість струменів на внутрішнє пожежогасіння - 2, тобто кожна точка приміщення повинна зрошуватися двома струменями - по одному струменю з двох сусідніх стояків. Витрата води на один струмінь - 2,5 л/с [28].

Внутрішнє пожежогасіння здійснюється за допомогою пожежних кранів. Пожежні крани встановлюються в доменному цеху на висоті 1,35 м над підлогою приміщення у виходів, на майданчиках, в проходах. Пожежні крани розміщуються в шафах, що мають отвори для провітрювання і мають напис ПК. Кожен пожежний кран забезпечується пожежним рукавом завдовжки 20 м і пожежним стволом.

У виробничих приміщеннях обладнуються протипожежні куточки, забезпечені ящиками з піском, ємностями з водою і пожежним щитом з

набором інвентарю: лопат, крюків, сокир, багрів, відер і так далі.

Для гасіння невеликих осередків пожеж застосовують ручні вогнегасники. До введення в експлуатацію допускаються вогнегасники, що мають бирки і маркувальні написи на корпусі, забарвлені в червоний сигнальний колір. Вогнегасники розміщуються в досяжних і помітних місцях, де виключено попадання на них прямих сонячних променів і безпосередня дія на них теплового випромінювання. Ручні вогнегасники навішують на вертикальні конструкції на висоті не більше 1,5 м від рівня підлоги до нижнього торця вогнегасника і на відстані не менше 1,2 м від дверей або встановлюють в пожежних шафах спільно з пожежними кранами. Допускається також установка в спеціальних тумбах або на пожежних щитах. Повинна забезпечуватися можливість прочитання маркувальних написів на вогнегаснику, що висить.

Доменний цех рекомендується оснащувати наступними вогнегасниками: пінні або водні, ємністю 10 л – 2 шт. на 1800 м<sup>2</sup> площі цеху; порошкові, ємністю 5л - 2 шт. на 800 м<sup>2</sup> ; вуглекислотні, ємністю 5 або 8 л – 2 шт. на 1800 м<sup>2</sup> [27]. Площа, займана однією пічною ділянкою, складає 3900 м<sup>2</sup>. Виходячи з цього, приймаємо до установки на ділянці наступні вогнегасники: повітряні пінні ОВП-10.01 – 5 шт., порошкові ОП-5-01 з порошком ПСБ – 10 шт., вуглекислотні ОУ-5 – 5 шт.

Найбільшого поширення набули спринклерні і дренчерні установки водяного і пінного пожежогасіння.

У доменному цеху можливо застосовувати дренчерні установки автоматичного пожежогасіння в кабельних тунелях, галереях паливоподачі і в інших приміщеннях підвищеної пожежної небезпеки, в яких можливе швидке поширення вогню.

Установки гасіння пожеж газовими складами призначені для гасіння пожеж в тих випадках, коли вживання інших засобів не дає необхідного ефекту або обмежено якими-небудь умовами (електроустановки під напругою, пожежі горючих газів, наприклад, доменного).

#### 4.4 Розрахунок установки вуглекислотного пожежогасіння

Потрібно визначити масу основного запасу діоксиду вуглецю для гасіння складу паливно-мастильних матеріалів об'ємом  $V = 350 \text{ м}^3$ . Категорія приміщення – А. Визначити також секундну витрату вуглекислоти і діаметр отвору насадки.

Маса основного запасу вуглекислоти розраховується за формулою, кг:

$$m = k_1 k_2 [k_3 (A_1 + 30A_2) + 0,7V], \quad (4.1)$$

де  $k_1$  – коефіцієнт, що враховує витіки через нещільність в запірній арматурі,  $k_1 = 1,1$ ;

$k_2$  – коефіцієнт, що враховує вид матеріалу, що згорає,  $k_2 = 1$ ;

$k_3$  – коефіцієнт, що враховує витік через нещільність в огорожувальних конструкціях, приймається рівним  $0,2 \text{ кг/м}^2$ ;

$A_1$  – сумарна площа огорожувальних конструкцій, через які можливі витіки, площа віконних і дверних отворів приміщення, що захищається,  $A_1 = 18 \text{ м}^2$ ;

$A_2$  – площа постійно відкритих отворів, для даного об'єму приміщення  $A_2 = 6 \text{ м}^2$  [27].

$$m = 1,1 \cdot 1 \cdot [0,2 \cdot (18 + 30 \cdot 6) + 0,7 \cdot 350] = 313 \text{ кг.}$$

Розрахункове число балонів визначається з місткості в 40-літровий балон 25 кг вуглекислоти:

$$n = m / 25 = 313 / 25 = 12,5 \text{ шт.} \quad (4.2)$$

З врахуванням 10% запасу приймаємо до установки 14 балонів. Повна маса вуглекислоти:



$$m_5 = 25 \cdot 14 = 350 \text{ кг.}$$

Середній за час подачі тиск вуглекислоти, МПа:

$$P_m = 0,5(P_1 + P_2), \quad (4.3)$$

де  $P_1$  – тиск в балонах при зберіганні вуглекислоти,  $P_1 = 2,1$  МПа;

$P_2$  – тиск в кінці випуску розрахункової кількості діоксиду вуглецю, МПа, який визначається за графіком [27] залежно від відносної маси вуглекислоти  $m_4$ :

$$m_4 = (m_5 - m)/m_5 = (350 - 313)/350 = 0,106 \text{ кг.} \quad (4.4)$$

За графіком знаходимо  $P_2 = 1,5$  МПа.

$$P_m = 0,5 \cdot (2,1 + 1,5) = 1,8 \text{ Мпа.}$$

Співвідношення площ постійно відкритих отворів і конструкцій, що захищають, через які можливі витіки:

$$A_2/A_1 = 6/18 = 0,333. \quad (4.5)$$

При співвідношенні  $A_2/A_1 \geq 0,03$  приймаємо час подачі діоксиду вуглецю в приміщення, що захищається,  $\tau = 40$  с [27].

Середня витрата вуглекислоти через насадку, кг/с:

$$Q = m/\tau = 313/40 = 7,825 \text{ кг/с.} \quad (4.6)$$

С іншої сторони, витрату через насадку можна визначити за формулою:

$$Q = 4100 \cdot \mu \cdot k_5 \cdot A_3 \cdot \exp(0,88P'), \quad (4.7)$$

де  $\mu$  – коефіцієнт витрати через насадку, приймаємо рівним 0,95;

$k_5$  – коефіцієнт, що залежить від тиску;

$A_3$  – площа горловини насадки, м<sup>2</sup>;

$P'$  – середній тиск в магістральному трубопроводі, розташованому в приміщенні, що захищається, МПа.

$$P' = P_M - \Delta P, \quad (4.8)$$

де  $\Delta P$  – втрати тиску в магістралі підведення вуглекислоти. Приймаємо  $\Delta P = 0,35$  МПа.

$$P' = 1,8 - 0,35 = 1,45 \text{ МПа};$$

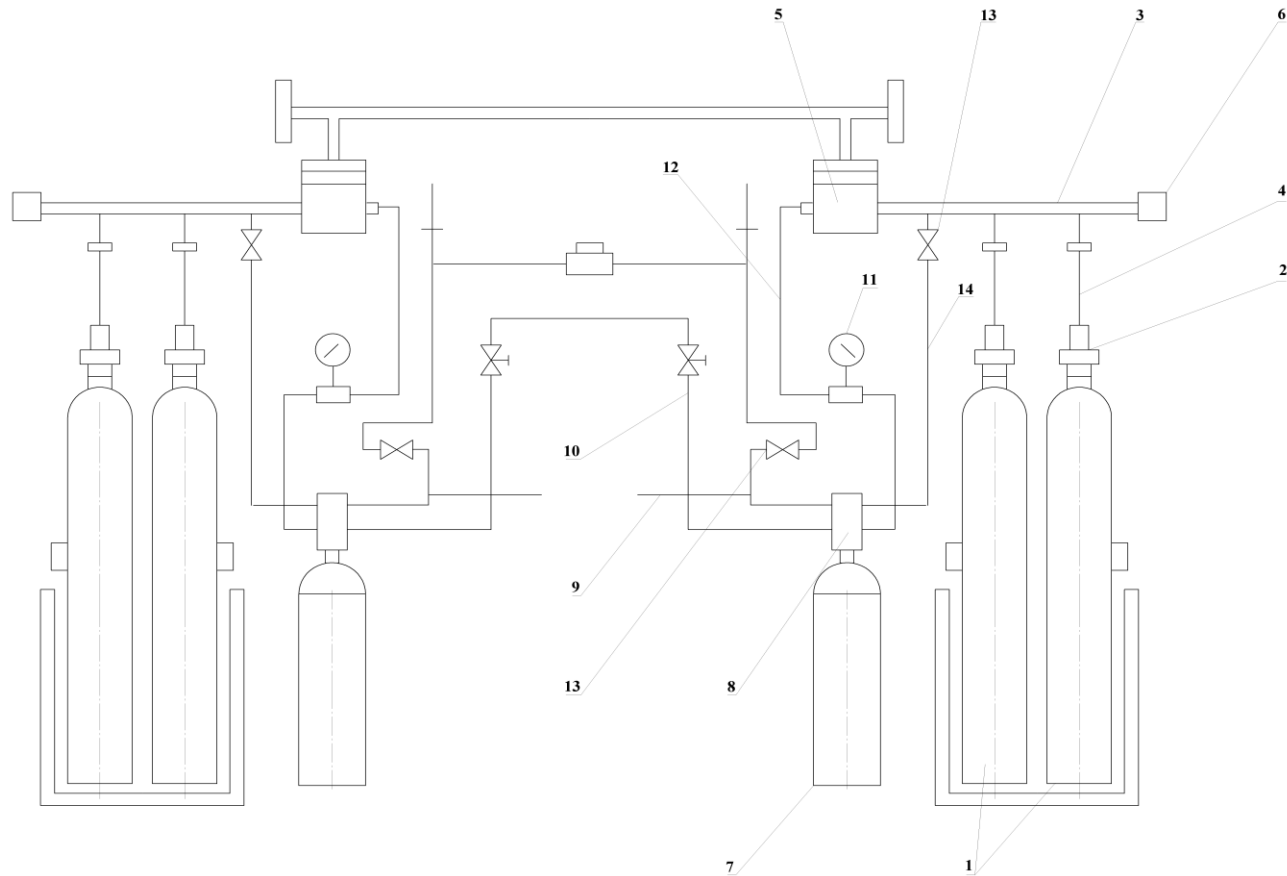
$$k_5 = 0,93 + 0,03 / (1,025 - 0,5P') = 0,93 + 0,03 / (1,025 - 0,5 \cdot 1,45) = 1,03; \quad (4.9)$$

$$\begin{aligned} A_3 &= Q / 4100 \mu k_5 \exp(0,88P') = 7,825 / 4100 \cdot 0,95 \cdot 1,03 \exp(0,88 \cdot 1,45) = \\ &= 0,55 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 = 5,5 \text{ см}^2. \end{aligned}$$

Діаметр горловини насадки, см:

$$d_o = \sqrt{\frac{4A_3}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 5,5}{3,14}} = 2,65 \text{ см}. \quad (4.10)$$

На рисунку 4.1 представлена схема вуглекислотного пожежогасіння.



1 – балони з вуглекислотою; 2 – випускна голівка; 3 – секційний колектор; 4 – мідні трубки; 5 – запорний клапан; 6 – секційний запобіжник; 7 – пусковий повітряний балон; 8 – запірно-пускова голівка; 9 – трубка для подачі повітря; 10 – трубка для підкачки стислого повітря; 11 – електроконтактний манометр; 12 – трубопровід до запірного клапану; 13 – зворотний клапан; 14 – пусковий трубопровід.

Рисунок 4.1 – Схема вуглекислотного пожежогасіння.

## ВИСНОВКИ

1. У кваліфікаційній роботі було проведено аналіз безпеки технологічних процесів та обладнання, гігієни праці та промислової санітарії, електробезпеки та пожежної безпеки у доменному цеху. Зроблено розрахунки інтенсивності теплового випромінювання від відкритого жолоба, придушення пилових викидів з чавуновозного ковшу, витяжного зонту над люткою доменної печі, захисного відключення, установки вуглекислотного пожежогасіння.

2. Оскільки одним з шкідливих чинників доменного цеху є теплове випромінювання, для поліпшення умов праці горнового встановлюємо зонт біля доменної печі. Площа поверхні зонту дорівнює  $3\text{ м}^2$ , висота розташування зонта 3 м, еквівалентний діаметр перетину зонта 2,4 м.

3. Зменшення пилоутворення (окислення металу) при зливанні чавуну може бути досягнуте спалюванням горючого газу, що подається через розташований над ковшем газорозподільний пристрій. Як газорозподільний пропонуємо використовувати сопловий пристрій. У кваліфікаційній роботі пропонується встановити систему, в якій замість природного газу спалюватиметься доменний. Сопловий газорозподільний пристрій має наступну технічну характеристику: кількість сопел - 4; тиск доменного газу  $P_d = 60$  кПа; витрата доменного газу  $1,45$  м<sup>3</sup>/с; швидкість виділення газу з сопла  $v = 50$  м/с. Діаметр сопла 80 мм.

4. Для захисту у разі дотику до струмоведучої частини, що знаходиться під напругою, у кваліфікаційній роботі пропонується використовувати пристрій автоматичного відключення, що реагує на струм нульової послідовності. Датчиком пристрою може служити трансформатор струму нульової послідовності (ТСНП), магнітопровід якого охоплює всі дроти мережі, що грають в цьому випадку роль первинних одновиткових обмоток трансформатору.

5. Виконано розрахунок установки вуглекислотного пожежогасіння для гасіння складу паливно-мастильних матеріалів об'ємом  $V = 350 \text{ м}^3$ . Категорія приміщення – А. Маса основного запасу вуглекислоти 350 кг. Необхідне число балонів 14 шт.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Млавець Ю.Ю. Охорона праці. Ужгород : ДВНЗ «УжНУ», 2015. 56 с.
2. Млавець Ю.Ю. Охорона праці в галузі. Ужгород : ДВНЗ «УжНУ», 2017. 72 с.
3. Самойленко Н.М., Аверченко В.І., Байрачний В.Б. Системи технологій та промислова екологія. Ч. І. Металургійний та енергетичний комплекс : навч. посіб. Харків : НТУ «ХП», Лідер, 2020. 212 с.
4. Верховлюк А.М., Нарівський А.В., Могилатенко В.Г. Технології одержання металів та сплавів для ливарного виробництва: навч. Посібник. Київ : Видавничий дім «Вініченко», 2016. 224 с.
5. Березуцький В.В., Березуцька Н.Л., Богодист А.О. Безпека людини у сучасних умовах: Монографія. Харків : ФОП Мезіна В.В., 2018. 208 с.
6. Березуцький В. В. Основи професійної безпеки та здоров'я людини : підручник. Харків : НТУ «ХП», 2018. 553 с.
7. Жидецький В.Ц. Основи охорони праці : підручник. Львів : УАД, 2006. 336 с.
8. Зеркалов Д.В. Безпека життєдіяльності та охорона праці. Монографія. Київ : Основа, 2015. 978 с.
9. Сокурєнко В.В., Бандурка О.М., Бортник С.М. Безпека життєдіяльності та охорона праці : підручник. Харків : ХНУВС, 2021. 308 с.
10. Сакун М.М., Москалюк І.В. Основи охорони праці. Навчально-методичний посібник. Херсон : «Южполиграфсервис», 2013. 67 с.
11. Зеркалов Д.В. Наукові основи охорони праці. Київ : «Основа», 2015. 934 с.
12. Запорожець О.І., Протоєрейський О.С., Франчук Г.М., Боровик І.М. Основи охорони праці. Підручник. Київ : Центр учбової літератури, 2009. 264 с.

13. Яремко З.М., Тимошук С.В., Третяк О.І., Ковтун Р.М. Охорона праці: навчальний посібник. Львів : Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2010. 374 с.
14. Пістуна І.П. Охорона праці (практикум): навчальний посібник. Львів : Тріада плюс, 2011. 436 с.
15. Коновалова О.В. Охорона праці. Практикум: навчальний посібник Київ : Центр учбової літератури 2015. 98 с.
16. Бондар А.О. Гігієна та санітарія в галузі : курс лекцій. Миколаїв : МНАУ, 2023. 38 с.
17. Лобойченко В.М., Шароватова О.П., Рибалова О.В. Виробнича санітарія: курс лекцій. Харків : НУЦЗУ, 2013. 128 с.
18. Ткачук К.Н., Филипчук В.Л., Каштанов С.Ф. Виробнича санітарія: навчальний посібник. Рівне : НУВГП, 2012. 443 с.
19. ДСН 3.3.6.037-99 «Державні санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку».
20. ДСН 3.3.6.039-99 «Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрацій».
21. Кундієв Ю.І., Яворський О.П., Шевченко А.М. Гігієна праці: підручник. Київ : ВСВ «Медицина», 2011. 904 с.
22. Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок (НПАОП 40.1-1.32-01): наказ Мінпраці України № 272 від 21.06.2001. Режим доступу <http://dsp.gov.ua/fond-npraop-2-chastyna/>
23. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою (ДСТУ Б В.1.1-36:2016) : наказ Мінрегіон України № 158 від 15.06.2016.
24. Панченко С.В., Акімов О.І., Бабаєв М.М. Електробезпека: підручник. Харків : УкрДУЗТ, 2018. 295 с.
25. Янчик О.Г., Райко В.Ф., Устинова Н.Д., Котлярова С.В., Ільїнська О.І. Організація електробезпеки в професійній діяльності: навчальний посібник для студентів першого (бакалаврського) та другого

(магістерського) рівнів із спеціальності 263 Цивільна безпека. Харків : НТУ «ХП», 2022. 304 с.

26. Гажаман В.І. Електробезпека на виробництві. Київ : «Охорона праці», 1998. 272 с.

27. Рожков А.П. Пожежна безпека: навчальний посібник. Київ : Пожінформтехніка, 1999. 256 с

28. Білим П.А. Основи пожежної безпеки : конспект лекцій для студентів денної та заочної форм навчання освітнього рівня «бакалавр» за спеціальністю 263 Цивільна безпека. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. 45 с.

29. Фесенко Г.В. Конспект лекцій з курсу «Основи пожежної безпеки». Харків : ХНУМГ, 2013. 40 с.

30. Правила пожежної безпеки в Україні [Текст]. Харків : Форт, 2004. 174 с.