

ВИВЧЕННЯ ВПЛИВУ ПОЛОЖЕННЯ СОПЛА НА ПАРАМЕТРИ ПРОДУВАЛЬНОЇ ЗОНИ

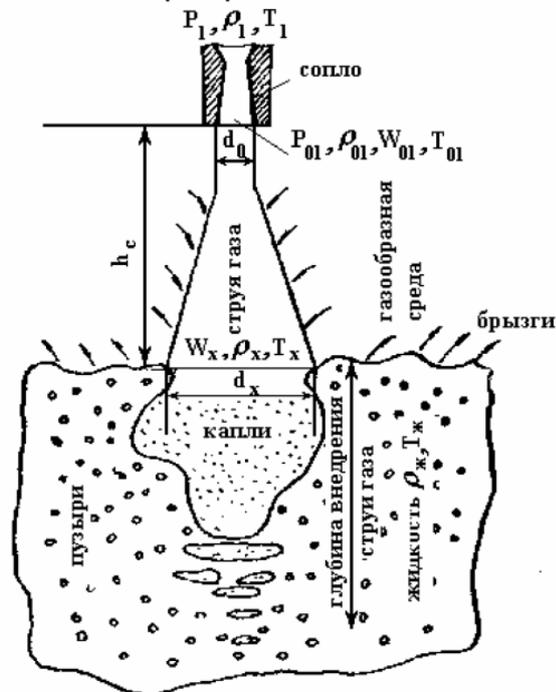
Мета роботи

1. Якісне та кількісне вивчення картини взаємодії газових струмін з рідиною.
2. Вивчення форми та розмірів продувної зони.

Вивчення впливу положення сопла (над ванною) на діаметр продувної зони та глибину впровадження газового струменя.

1. Теоретичні основи продування конвертерної ванни

Вирішальним фактором, надають вплив на техніко-економічні показники роботи кисневих конвертерів, є дутьовий режим періоду продування, який повинен забезпечувати високі швидкості окислення домішок та шлакоутворення, інтенсивне перемішування ванни з метою покращення умов масо- та теплообміну, високий рівень засвоєння кисню ванною та високу стійкість футерування конвертера.



Малюнок 1.1. -Схема взаємодії газоподібного струменя з рідиною

Основними технологічними параметрами, що визначають дутьовий режим, є: витрата та тиск кисню, конструкція наконечників фурм і сопел, положення фурми над рівнем металу та характер струменів,

витікають із сопел. Ці параметри впливають на глибину впровадження в метал кисневого струменя та обсяг реакційної зони, від величини яких залежить гідродинаміка впливу кисневого струменя на ванну (рис.1.1).

Питання визначення глибини застосування кисневого струменя в конвертерну ванну присвячено багато робіт, але, як зазначає В.І. Явойський, розрахунки глибини впровадження кисневого струменя в металеву ванну та енергії, що витрачається на перемішування ванни, дуже складні, т.к. одночасно з ударним впливом струменя на метал мають місце інші явища, такі як розширення газу, асиміляція газу рідиною, зміна густини рідини і т.д.

Крім того, в процесі продування внаслідок спучування ванни під час інтенсивного окислення вуглецю рівень її коливається в дуже широких межах, що призводить до зміни характеру закінчення газового струменя – переходу від режиму вдування кисневого струменя в середу з малою щільністю ("незатоплений" струмінь) щільністю ("затоплений" струмінь).

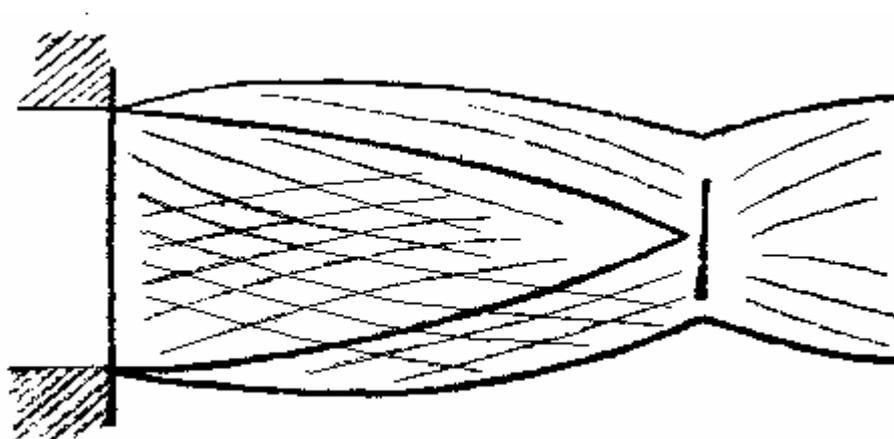
За час продування помітно змінюється також щільність газошлаку металеві емульсії, що утворюється в результаті дроблення металу та шлаку на окремі краплі при ударі струменя об поверхню ванни, а також внаслідок виділення бульбашок CO_2 з металу.

Все це значною мірою ускладнює теоретичні розрахунки, робить їх далекими від реальних умов, а оптимальні параметри продування, такі як тиск дуття, конструкція фурм і сопел, положення фурми над рівнем металу та ін. встановлені на підставі практичних промислових даних конвертерів.

У зв'язку зі складністю постановки експерименту в реальних умовах роботи конвертерів, гідродинаміку киснево-конвертерної ванни вивчають холодним моделюванням процесу продування з дотриманням основних положень теорії подоби, використовуючи прозорі рідини.

Відповідно до сучасних уявлень при продуванні ванни в кисневих конвертерах швидкість закінчення кисневої струменя перевищує швидкість звуку, тобто. витікання струменя із сопла відбувається з надкритичними швидкостями, що характеризуються числом Маха, що призводить до різкої зміни якісних та кількісних характеристик струменя.

Тому існуючі уявлення про параболічну зміну швидкісного напору та енергії вздовж і впоперек струменя, характерне для дозвукових швидкостей закінчення, неприйнятні для надзвукових.



Малюнок1.2. -Спектр струменя при надзвуковій швидкості закінчення газу із сопла

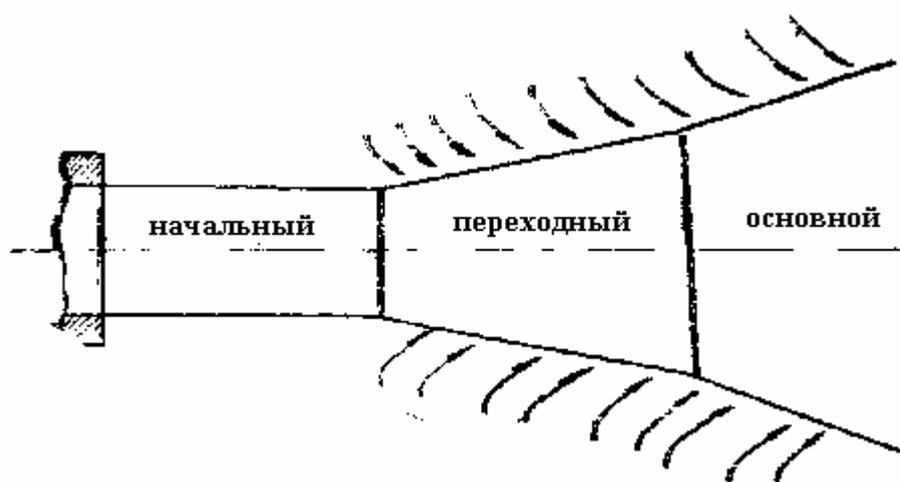
При надзвуковій швидкості закінчення газу із сопла в струмені виникають стрибки ущільнення та хвилі розрядження (рис.1.2), причина та механізм освіти яких досить вивчений та представлений у спеціальній літературі, присвяченій питанням технічної газодинаміки.

У стрибках ущільнення та наступних за ними хвилях розрядження відбувається зміна термодинамічних параметрів струменя, що призводить до значних втрат енергії та переходу з надзвукового до дозвукового режиму закінчення.

При надзвуковій швидкості закінчення основним параметром, що визначає будову струменя, є імпульс, який значною мірою залежить від градієнта тиску газу при виході із сопла та середовища, в яке витікає газ.

Струмінь при надзвуковому режимі закінчення газу характеризується трьома ділянками:

- а) початковим, у якому швидкість струменя перевищує швидкість звуку;
- б) перехідним, у якому за рахунок інжекції газу з навколишнього середовища та втрати енергії на початковій ділянці відбувається перехід швидкості закінчення із надзвукового на дозвуковий режим;



Малюнок1.3. -Схема струменя при надзвуковій швидкості закінчення газу із сопла

- в) основним (кінцевим), в якому за рахунок розведення струменя великим

кількістю газу, швидкість та енергія струменя різко зменшуються (рис.1.3.).

З характером впливу кисневого струменя на ванну пов'язаний процес бризкоутворення, виносів та викидів металу з конвертера. Механізм бризкообразовання у кожному даному випадку має особливості, залежні від багатьох чинників, унаслідок чого з цього питання є різні думки.

Одні вважають, що бризкоутворення є процесом виключно фізичним, що залежить від режиму продування.

Інші відносять це явище до процесів хімічних, вважаючи, що процес бризкоутворення є наслідком вибухового характеру реакції окислення вуглецю в мікрооб'ємах ванни та виділення CO газову фазу.

Треті розглядають процес бризкообразовання комплексу перших двох, тобто. вважають, що бризкоутворення є наслідком складного фізико-хімічного процесу.

Незалежно від цього, який процес грає першорядну роль бризкообразованні – фізичний чи хімічний – обидва вони залежить від дутьєвого режиму й у найбільшій мірою проявляються на початку й кінці продування, тобто. під час продування металу за режимом "незатопленої" струн.

Утворення бризок при зустрічі кисневого струменя з ванною виключається при непружному (м'якому) ударі струменя об метал.

З бризкоутворенням пов'язаний винос металу, під яким мають на увазі ті невеликі краплі металу, які відриваються від поверхні ванни та виносяться з конвертера газовим потоком.

При інтенсивному окисненні вуглецю, тобто. при переході продування на режим "затопленого" струменя винос бризок практично неможливий, т.к. вони поглинаються шлакометалевою сумішшю. Дутьєвий режим дуже впливає на викиди металу і шлаку з конвертера, які є в більшості випадків лімітуючим фактором подальшої інтенсифікації процесу продування.

Для запобігання викидам необхідно забезпечити рівномірну без бурхливих спалахів швидкість окислення вуглецю, що досягається розосередженою подачею кисню на металеву ванну через багатосоплові фурми.

Зниження втрат металу з викидами досягається шляхом зміни параметрів дуття та положення фурми над рівнем металу, використання багатосоплових фурм, зміни геометрії сопла та кута нахилу сопел до вертикалі, упорядкування режиму присадки руди та додатків, що флюсують і т.д.

Важливим параметром, що характеризує процес взаємодії кисневого струменя з рідким металом, є інтенсивність перемішування ванни в процесі продування, т.к. від інтенсивності перемішування багато в чому залежить швидкість масо-і теплообмінних процесів, які протікають межі розділу фаз газ - шлак - метал.

Сили в'язкості та поверхневого натягу не відіграють суттєвої

ролі та ними зазвичай нехтують. Умовою правильності перенесення отриманих на моделях результатів на реальні процеси та об'єкти є ідентичність (рівність) безрозмірних величин, які називаються критеріями подібності.

У разі моделювання процесів, у яких визначальними є інерційні та гідростатичні сили, застосовується критерій Архімеда:

$$Ar = \frac{\gamma_r W^2}{\gamma_{ж} g l} \quad (1.1)$$

де γ_r та $\gamma_{ж}$ – питома вага газу та рідини відповідно, н/м³, кг/м³;

g – Прискорення сили тяжіння, м / с²; W –

швидкість газу на виході із сопла, м/с; l –

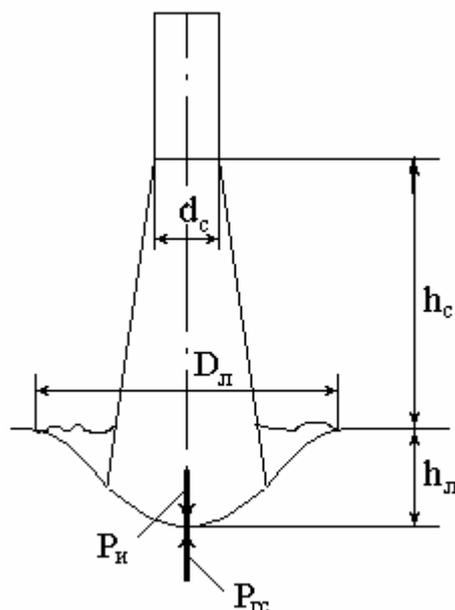
Характерний лінійний розмір, м.

Критерій Архімеда у вигляді не зручний для роботи, т.к. до нього входить величина швидкості газу. Вона залежить не тільки від параметрів форми та тиску газу перед соплом, а й від висоти розташування сопла над рідиною.

Перетворимо критерій Архімеда на вигляд:

$$Ar^* = \frac{\pi \cdot \gamma_r W^2}{4 \gamma_{ж} g l} \cdot \frac{l}{l} = \frac{\pi \cdot \gamma_r W^2 l}{4 \gamma_{ж} g l} \quad (1.2)$$

Необхідно вирішити, які параметри слід прийняти як характерні лінійні розміри для інерційних і гідростатичних сил. На рис1.4 показана схема взаємодії газового струменя з рідиною та основні параметри зони продувки. З представленої схеми впливає, що діаметр сопла (d_c) може бути прийнятий як характерний лінійного розміру інерційних сил газового струменя. За характерний лінійний розмір для гідростатичних сил слід прийняти глибину лунки, що утворюється (продувної зони), $h_{л}$.



Малюнок 1.4. -Схема взаємодії газового струменя з рідиною: d_s -

Діаметр сопла, м;

h_c - Висота сопла над рівнем спокійної рідини, м; h_n -

глибина лунки, що утворилася, м; P - Інерційні сили

газового струменя, м; P_{rc} - гідростатичні сили, м.м.

Глибина лунки залежить в першу чергу від висоти розташування сопла над рівнем спокійної ванни h_n , тобто параметр, який може легко задаватися та контролюватись у ході експерименту. Його і слід прийняти як характерний лінійний розмір.

Тоді рівняння (1.2) набуває вигляду:

$$Ar^* = \frac{\pi d_s^2 \cdot \rho_r \cdot W_r^2}{4 \rho_{ж} \cdot g \cdot h_n^3} = \frac{f_c \rho_r \cdot W_r^2}{\rho_{ж} \cdot g \cdot h_n^3} \quad (1.3)$$

де f_c - Перетин струменя, м²;

h_c - Висота фурми над рівнем спокійної рідини, м; $\rho_r, \rho_{ж}$ -

щільність газу та рідини, кг/м³.

Чисельник критерію Ar^* являє собою імпульс газового струменя i_r :

$$i_r = f_c \rho_r W_r^2 \quad (1.4)$$

Якщо прийняти, що дисипації (розсіювання) енергії струменя немає при віддаленні газів від зрізу сопла, то імпульс струменя та її енергія залишаються постійними усім продовженні струменя (у межах реальних умов роботи кисневих фурм). Швидкість струменя падає, таким чином, виключно за рахунок розведення струменя газами, в які втікає струмінь, і надання їм відповідних швидкостей.

Все це дозволяє розрахувати імпульс струменя один раз і при цьому в стандартних умовах, а саме, на виході із сопла фурми, за наступним співвідношенням:

$$i_r = f_0 \rho_r W_{r0}^2 \quad (1.5)$$

де f_0 -переріз сопла, м²;

W_{r0} - Об'ємна витрата газу, м³/с;

W_{r0} - Швидкість закінчення газу на зрізі сопла, м / с.

Величина W_{r0} безпосередньо вимірюється за допомогою витратомірів. Швидкість закінчення газу на зрізі сопла Лавалю визначається рівняння, що описує закінчення ідеального газу при адіабатичних процесах розширення:

$$W_{r0} = \sqrt{\frac{2K}{K-1} R_0 T_2 \left(1 - \left(\frac{P}{P_2}\right)^{\frac{K-1}{K}}\right)} \quad (1.6)$$

де W_{r0} - Швидкість закінчення газу з сопла, м / с;

R - газова постійна, $R=R_0/M$;

R_0 - Універсальна газова постійна ($R_0=8,3143$ Дж/моль); M - молярна маса газу, кг/моль;

P_2, T_2 - тиск та температура у просторі, з якого витікає газ, кгс/см² та К, відповідно;

P_1 - тиск у просторі, в який витікає газ, кгс/см²;

K – показник адіабатичного розширення для двоатомних газів $K = 1,4$.

Таким чином, отримано критерій Ar^* , рівність значення якого на моделі та у зразку визначає подібність процесів взаємодії газових струменів з рідиною.

З урахуванням викладеного, критерій Архімеда перетворюється на вираз:

$$Ar^* = i \rho_{ж} g h_{з.с.} \quad (1.7)$$

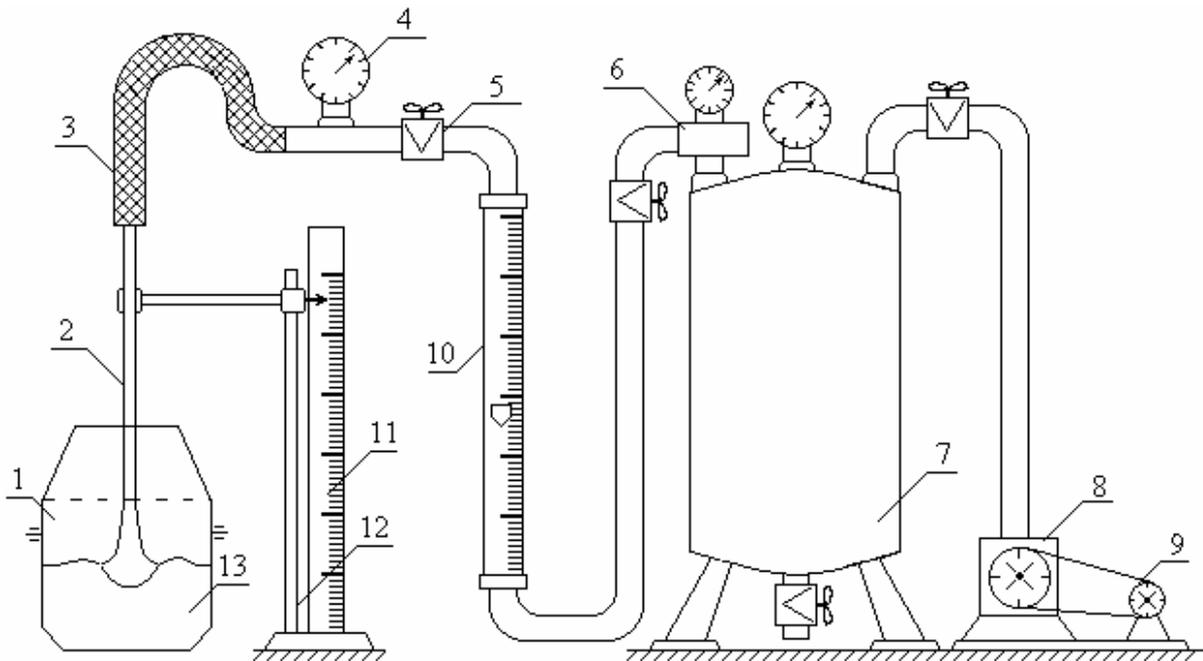
Моделювання процесів взаємодії газового струменя з рідиною може використовуватися для отримання якісних та кількісних розрахунків глибини проникнення газового струменя в метал на реальному конвертері.

Для циліндричних або конічних сопел швидкість витікання газу визначається з виразу:

$$W_{кр} = \sqrt{\frac{2k}{k+1} RT_0} = 1,08 \sqrt{RT_0} \quad (1.8)$$

де R – Постійна газова для повітря $R = 287,33 \text{ Дж/кг}^\circ \text{ До}$.

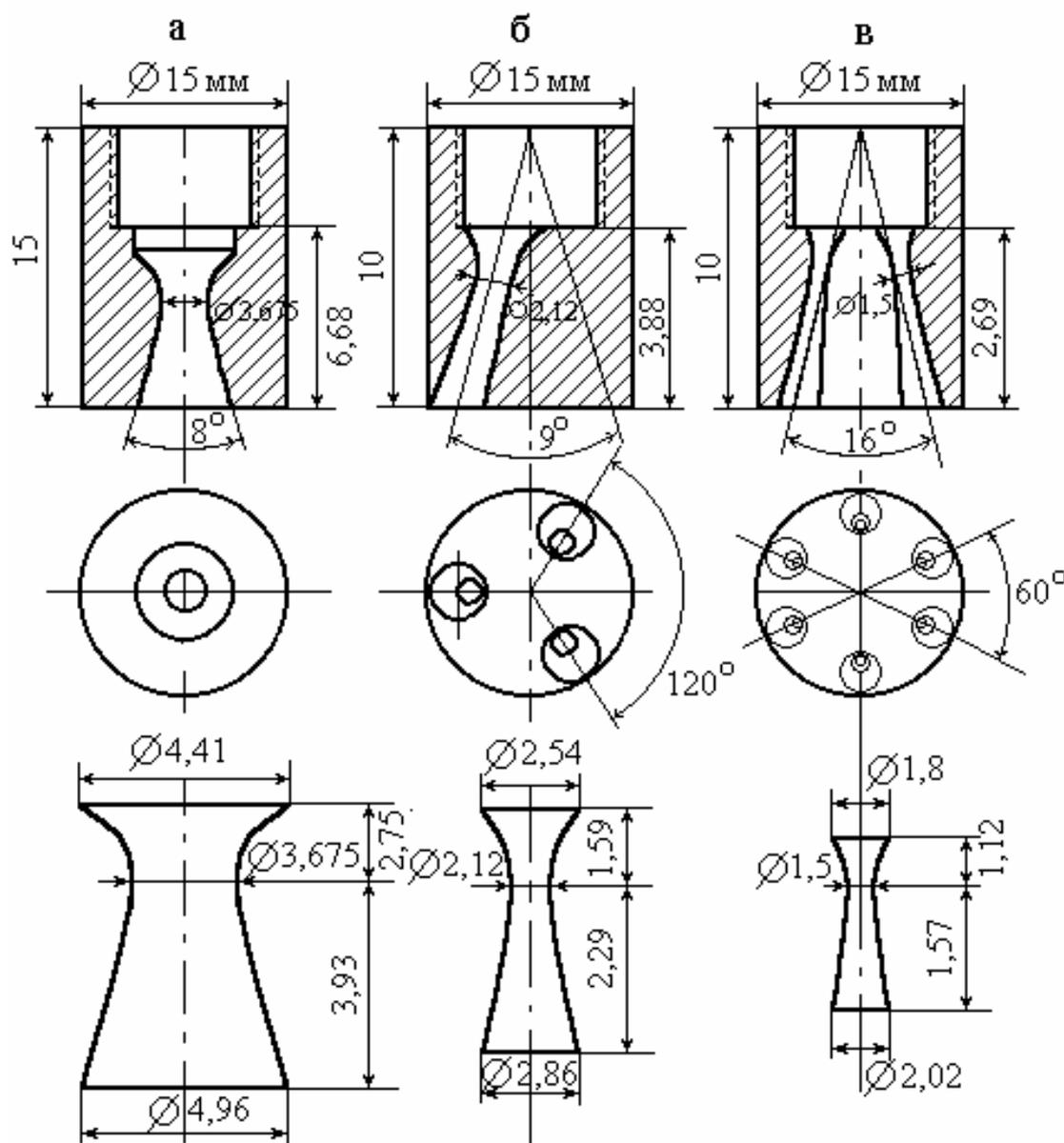
2.1. Опис установки



Малюнок 2.1. – Схема установки для холодного моделювання процесу продування конвертерної ванни: 1 – конвертер; 2 – фурма; 3 – з'єднувальний шланг; 4 – манометр; 5 – вентиль; 6 – редуктор; 7 – ресивер; 8 – компресор; 9 – електродвигун; 10 – ротаметр; 11 – вимірювальна лінійка; 12 – штатив; 13 – модельна рідина.

Досліди проводяться на прозорій моделі 250-тонного кисневого конвертера, виконаної в масштабі 1:25. Схема установки представлена на рис. 2.1. Як рідина, що моделює метал, використовується вода.

Продування здійснюється повітрям, що надходить з газового ресивера.7 за з'єднувальним трубам та шлангам через редуктор5 у конвертер 1. Вимірювання об'ємної витрати газу здійснюється ротаметром10 при надмірному тиску, що фіксується манометром4. Положення фурми 2 вимірюється за допомогою вимірювальної лінійки11 з наклеєною на ній шкалою.



Малюнок 2.2. - Розміри головок односоплової (а), трисоплової (б) і шестисоплової (в) фурми.

При виконанні лабораторної роботи використовуються модельні фурми трьох типів: односоплова, трисоплова та шестисоплова (мал.2.2). Сумарний прохідний переріз сопел – величина стала.

2.2. Порядок проведення роботи

Моделюється продування в 250-т кисневому конвертері через одно-,

три- та шестисоплові фурми з витратою дуття, еквівалентним робочому режиму продування в промисловому конвертері. Витрата дуття (режим продування) на всіх дослідах постійний. Вихідні дані до роботи наведено у табл.2.1.

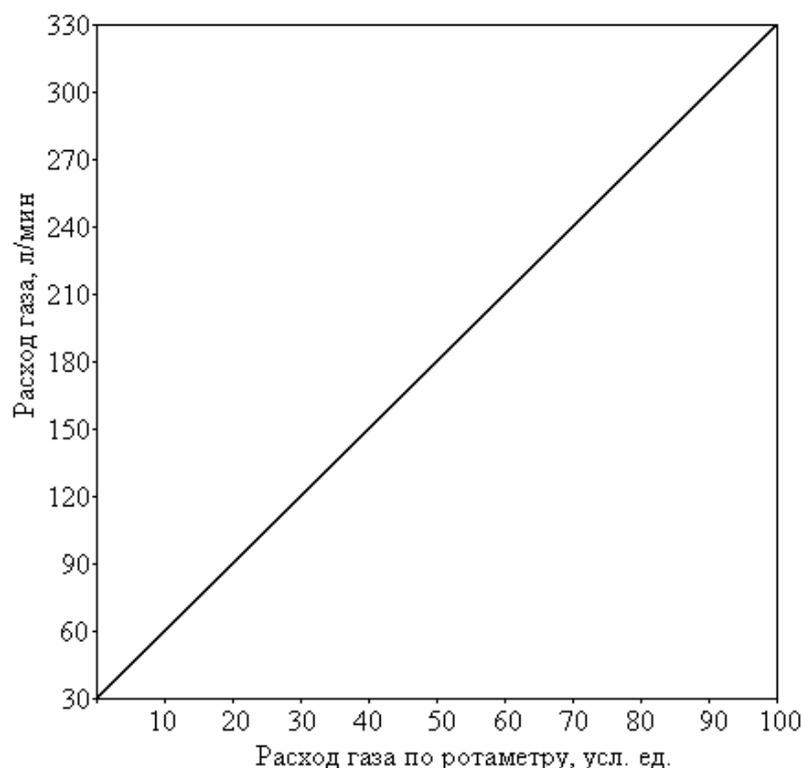
Таблиця2.1. –Варіанти режимів продування

Об'єкт дослідження	Витрата газу при питомій інтенсивності продування, мз/т·хв											
	3,0	3,25	3,5	3,75	4,0	4,25	4,5	4,75	5,0	5,25	5,5	
Витрата кисню в250-т конвертері												
Модель у масштабі1:25												
Витрата газу по ротаметру												

Витрати дуття в моделі розраховують за формулою:

$$V' = V_r \sqrt{\frac{\rho_{ж}' \cdot \rho_{г'}}{\rho_{ж} \cdot \rho_{г}}} L_i^5 \quad (2.1)$$

де V_r - Витрата дуття на моделі, мз/хв;
 V - Витрата кисню (за нормальних умов) в реальному конвертері, мз/хв;
 $\rho_{ж}'$ - Щільність модельної рідини, кг/мз; $\rho_{ж}$ - Щільність рідкого металу, кг/мз;
 $\rho_{г}'$ - густина газу, що використовується на моделі, кг/мз; $\rho_{г}$ - Щільність технічно чистого кисню, кг/мз;



Малюнок 2.3 – Переведення витрати газу по ротаметру (умовних одиниць) у натуральну величину, л/хв.

L- масштаб моделі (1:25).

Враховуючи, що витрата газу за ротаметром наводиться в умовних одиницях (від 0 до 100), необхідно витрати газу (у літрах) перевести в умовні одиниці. Користуючись графіком (мал.2.3), переводимо витрату газу (в літрах) у витрату газу в умовних одиницях по ротаметру.

Після визначення витрати газу моделі визначається положення сопла (в мм) над рівнем спокійної ванни:

$$h_c = d_c \cdot n_{до} \quad (2.2)$$

де d_c - Діаметр сопла, мм;

$n_{до}$ - Число калібрів (приймається за даними таблиці 2.2).

Таблиця 2.2 - Положення фурми над рівнем спокійної ванни

Конструкція сопла	Варіант продування	Положення фурми над соплом, кількість калібрів ($n_{до}$)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Одно-, три-, шести-соплові фурми	1	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
	2	0	4	8	12	16	20	24	28	32	36
	3	0	6	12	18	24	30	36	42	48	54
	4	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27
	5	0	7	14	21	28	35	42	49	56	63
	6	0	8	16	24	32	40	48	56	62	68

Після визначення необхідних даних щодо режиму продування – витрати газу, (л/хв); положення фурми над рівнем спокійної ванни (мм)

– провадиться підготовка лабораторної установки до роботи. Заливається вода до необхідного рівня (200-300 мм. Вмикається компресор. Перевіряється робота приладів, вентилів та ін. обладнання.

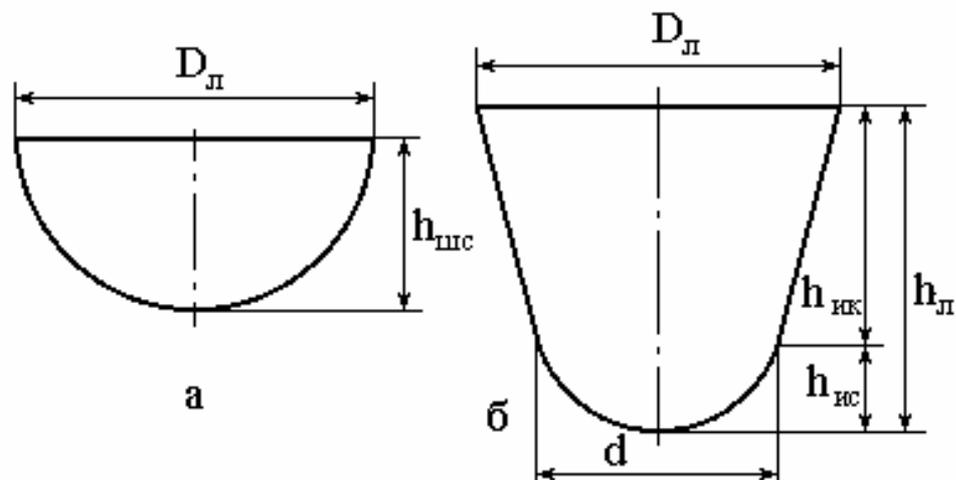
За виконання роботи групою студентів розподіляються обов'язки з-поміж них:

- перший студент стоїть біля вентиля5 і подає та підтримує необхідний витрата газу на фурму, що визначається за ротаметром10;
- другий студент встановлює положення фурми над рівнем спокійної ванни за вимірювальною лінійкою11;
- третій студент здійснює вимірювання розмірів продувної зони: глибину лунки та діаметр продувної зони;
- четвертий студент заносить результати вимірювань у таблицю2.3;
- п'ятий студент робить ескіз форми продувної зони.

Усі студенти цієї підгрупи, крім виконання своїх прямих обов'язків, проводять спостереження за поведінкою газового струменя в рідині.

Переконавшись, що лабораторна установка у робочому стані, розпочинається постановка експериментів. Досліджувану фурму (спочатку односоплову) встановлюють на рівень нуль калібрів від поверхні рідини та починають постановку дослідів.

У процесі проведення дослідів, повільно відкриваючи вентиль5, подають газ на фурму до досягнення необхідної витрати, що відзначається на шкалі ротаметра10, потім плавним поворотом вентиля (при необхідності) підтримують необхідну витрату газу на заданому значенні протягом досліду. Після стабілізації дутьового режиму здійснюється спостереження за газовим струменем в рідині. Для кожного значення положення фурми вимірюють глибину і діаметр лунки і дають їй якісний опис (конфігурація лунки, характеристика поверхні, наявність або відсутність бульбашок на ній, прояв бризок, інтенсивність пульсації поверхні та т.д.), робиться ескіз форми лунки (кратера). Для спрощення розрахунку форма лунки (кратера), що утворюється, ідеалізується у вигляді кульового сегмента або усіченого конуса в поєднанні з кульовим сегментом (рис.2.4).



Малюнок 2.4. Форма кратера лунки:

а) кульовий сегмент; б) поєднання зрізаного конуса з кульовим сегментом.

Розміри лунки (кратера) та глибина впровадження струменя визначаються за допомогою мірної лінійки. Потім, не змінюючи розрахованої витрати дуття, фурму піднімають над поверхнею ванни послідовно на такі рівні і виробляють аналогічні виміри та замальовки продувної зони. Результати спостережень заносять до таблиці 2.3. вимірювання проводять при 5-6 положеннях фурми над рівнем спокійної ванни та постійної витрати газу.

Таблиця 2.3 - Результати вимірювань та спостережень

№ п/п	Положення сопла над ванною		Форма лунки	Параметри лунки			
	Число калібрів	мм		h_l , мм	D_l , мм	$D_{лм}$	$V_{лсм}$
Односоплова фурма							
1			Кульовий сегмент				
2			-				
3			У.К.+Ш.С.				
4			-				
5			-				
6			-				
Трисоплова фурма							
1			Ш.С.				
2			Ш.С.				
3			Ш.С.+У.К.				
4			-				
5			-				
6			-				
Шестисоплова фурма							
1			Ш.С.				
2			Ш.С.				
3			Ш.С.+У.К.				
4			-				
5			-				
6			-				

Для всіх досліджених режимів подачі газу в рідину замальовується лунка для одно-, три- та шестисоплової фурм, складається таблиця "ескізи взаємодії струменів газу з рідиною" - витрата газу та положення фурми. Результати мають бути згруповані у три групи – за типами фурм.

2.3. Обробка результатів експерименту

Результати експерименту (таблиця 2.3) обробляються на ЕОМ (Комп'ютері). Попередньо складається алгоритм, програма та виконуються такі обчислення.

1. Визначається обсяг продувної зони:

$$V_{у,до} = \frac{1}{12} \pi \cdot h_{у,до} (D_{2л} + D_{л} \cdot d_{л} + d) \quad (2.3)$$

$$V_{ш.з} = \frac{1}{16} \pi h_{ш.з}^2 \left(h_{ш.з}^2 + \frac{3}{4} D_{л}^2 \right) \quad (2.4)$$

$$V = V_{y.k} + V_{ш.c} \quad (2.5)$$

Отримані значення заносяться до таблиці 2.4.

2. Визначається витрата газу через одне сопло модельної фурми:

$$V_c = V_f / n_c \quad (2.6)$$

де V_f - Витрата газу на фурму;

n_c - Число сопл у фурмі.

3. Розраховується швидкість закінчення газу із сопл модельної фурми за формулою (1.6) або (1.8).

4. За рівнянням (1.3) визначається значення критерію Ar^* , імпульс струмені за формулою (1.5) для даної (постійної) витрати газу.

5. Визначаються безрозмірні параметри зони продувки: обсяг продувної зони, $\frac{h_c}{d_3}$, $\frac{h_l}{h_3}$, $\frac{D_l}{h_l}$. Розрахункові значення з експериментів

заносяться до таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 - Результати розрахунків на комп'ютері

№ п/п	Становище сопла над ванною	Форма продувний зони	Результати розрахунків			
			$\frac{h_l}{h_3}$	$\frac{D_l}{h_l}$	$\frac{h_3}{d_3}$	$V_{пз}, \text{ см}^3$
Односоплова фурма						
1						
2						
3						
4						
5						
6						
Трисоплова фурма						
1						
2						
3						
4						
5						
6						
Шестисоплова фурма						
1						
2						
3						
4						
5						
6						

6. Крім розрахунків, зазначених у таблиці 2.4., із застосуванням комп'ютерів виконуються розрахунки визначення швидкості закінчення газу з сопла, імпульс струменя, величина критерію Архімеда.

7. Будуються для кожної конструкції фурми графіки функцій $\frac{h_l}{h_s}, \frac{D_l}{h_l}$

$$V_{пз} \text{ від } \frac{h_s}{d_s}$$

8. Крім перерахованих розрахунків на комп'ютері виконуються розрахунки по відшукуванню методом найменших квадратів коефіцієнтів полінома виду

$$y = a_0 + a_1 x + a_2 x^2, \quad (2.7)$$

апроксимує статистичний зв'язок між зазначеною функцією та аргументом, розраховується коефіцієнт кореляції та величина залишкового середньоквадратичного відхилення. З отриманих результатів розрахунку наноситься крива апроксимації, розрахована на комп'ютері.

Слід пам'ятати, що витрата газу, зафіксований ротаметром, відноситься до всіх сопла фурми, тому при розрахунку імпульсу струменя слід брати витрату газу тільки на один струмінь, тобто. на одне сопло.

При розрахунку критерію Ar^* (за рівнянням 1.7) слід чітко дотримуватися розмірності однієї системи одиниць виміру. Підтвердженням правильності вибору розмірності всіх величин є виконання вимоги безрозмірності критерію Ar^* .

2.4. Зміст звіту

1. Короткий опис мети та завдання роботи та її зміст, схема встановлення та її опис, ескізи фурм та їх основні розміри.
2. Фізичні характеристики рідин і газу, використаних у експеримент.
3. Таблиця "Ескізи взаємодії газу з рідиною" - витрата газу та становище фурми.
4. Таблиці 2.3 та 2.4 з результатами експерименту та їх обробкою.
5. Графіки функцій $\frac{h_l}{h_s}, \frac{D_l}{h_l}, V_{пз} = f\left(\frac{h_s}{d_s}\right)$ для кожної конструкції фурми.
6. Коротка оцінка одержаних результатів з аналізом особливостей взаємодії газу з рідиною залежно від типу фурми та відстані від торця фурми до поверхні спокійної рідини.

2.5. Контрольні питання допуску на проведення роботи

1. Які термодинамічні сили визначають параметри зони продувки при впровадженні струменя газу в рідину?
2. Яких сил можна знехтувати при моделюванні взаємодії

струменя газу з рідиною?

3. Як визначається та контролюється витрата газу в даній роботі?
4. Які координати зазвичай використовуються при знаходженні гідродинамічних залежностей?
5. Які фізичні величини необхідно фіксувати під час експериментів під час виконання цієї роботи?
6. Який тиск фіксують зразкові манометри під час проведення дослідів?
7. Скільки типів фурм досліджується у лабораторній роботі?
8. Виконання яких вимог забезпечує нормальне виконання роботи?

9. Які основні завдання мають бути вирішені після повного виконання роботи?