

*д.т.н. Новохатський О.М.,  
Михайлюк Г.Д., к.т.н. Манаков В.П.  
(ДонДТУ, м. Алчевськ, Україна)*

## **ДЕЯКІ ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ ГОРНА ДОМЕННОЇ ПЕЧІ ПРИ ВИПУСКУ ЧАВУНУ І ШЛАКУ ЧЕРЕЗ КАНАЛ ЧАВУННОЇ ЛЬОТКИ**

*Приведены результаты теоретического обоснования математической модели образования воронки в слое чугуна в районе канала чугунной лётки в период выпуска продуктов плавки – чугуна и шлака. Рассмотрено влияние депрессионной воронки чугуна и шлака на изменения уровня жидкого чугуна в горне по окончанию выпуска продуктов плавки.*

**Ключевые слова:** доменная печь, чугунная лётка, продукты плавки, депрессионная воронка, математическая модель, уровень чугуна, коэффициент пропорциональности.

*Приведені результати теоретичного обґрунтування математичної моделі утворення воронки у слої чавуна в районі каналу чавунної льотки в період випуску продуктів плавки – чавуна та шлаку. Розглянуто вплив депресійної воронки чавуна та шлаку на зміни рівню рідкого чавуна в горні по закінченню випуску продуктів плавки.*

**Ключові слова:** доменна піч, чавунна льотка, продукти плавки, депресивна воронка, математична модель, рівень чавуну, коефіцієнт пропорційності.

**Проблема і її зв'язок з науковими та практичними задачами.**  
В даний час подальший розвиток доменного виробництва на металургійних підприємствах України відбувається за рахунок впровадження нових технологій, новітнього устаткування і підвищення рівня автоматизації виробничих процесів, реконструкції і модернізації існуючих доменних печей, а також виводу з експлуатації фізично і морально застарілих доменних печей малого об'єму.

При традиційній конструкції засипного пристрою і периферійному підведенні дуття в горн, великі горизонтальні розміри колошника, розпару і горна сучасних печей великого об'єму створюють певні труднощі в розподілі шихтових матеріалів на колошнику, гарячого дуття по фурмам, організації випусків продуктів плавки. Корисна висота таких

печей за розрахунками виявилася надмірно великою, що вимагає значного підвищення міцності коксу і якості шихтових матеріалів.

Порушення раціональності профілю викликає труднощі в роботі горна і в цілому всієї печі. Проблема особливо виявляється, коли робота доменних печей здійснюється на шихті різних постачальників, що має нестабільну якість і високий вміст шлакотворних складових.

Останніми роками на доменних печах скорочена витрата природного газу, технічного кисню, зменшена температура дуття. Велика витрата і невисока якість коксу зменшують місткість горна і, при високому виході шлаку, приводять до переповнювання горна продуктами плавки, частим захаращуванням металоприймача, великій окружній нерівномірності роботи низу печі, що позначається на техніко-економічних показниках плавки і якості чавуну. На ряді підприємств заплановане впровадження технології вдування пилевугільного палива, що ще більш ускладнить роботу нижньої частини доменної печі.

**Аналіз досліджень та публікацій.** Враховуючи важливість процесів, що відбуваються в горні, їх вплив на показники роботи доменних печей, цій проблемі постійно приділялася велика увага.

Найбільш важким завданням є організація хорошої роботи горна, регулювання його місткості, вертикальної і горизонтальної дренажної здатності, яка дозволить без ускладнень і простоїв вести плавку високої інтенсивності і виплавляти якісний чавун [1].

Нестационарність доменної плавки полягає в тому, що чавун і шлак випускають з горна протягом доби кілька разів, причому на деяких печах випуск продуктів плавки через канали чавунних льоток ведуть безперервно.

При розтині каналу чавунної льотки на початку звичайно витікає чавун, але іноді, при порушенні процесів в горні, першим з'являється шлак.

При нормальному режимі роботи печі після випуску від 30 до 80 тонн чавуну з льотки з'являється шлак і надалі їх вихід з горна проходить спільно.

На протязі від 8 до 12 хвилин, у відліку від початку розтину льотки, в шарі чавуну утворюється воронка, в яку захоплюється шлак. Шар шлаку при цьому виконує роль затвора, що запобігає прориву горнових газів, які мають від 200 до 300 кПа надмірного тиску. У випадку, якщо б в печі був відсутній шар шлаку, чавун, що скупчився, не можна було б повністю випустити з металоприймача із-за прориву горнових газів. Для повної видачі чавуну необхідно було б скорочувати витрату дуття, а це приводить до осідання стовпа шихтових матеріалів і втрати продуктивності, що є негативною дією при веденні доменної печі. Тому шар шлаку в горні виконує позитивну роль: дозволяє випустити чавун в повному

об'ємі, стабілізувати тепловий рівень нижньої частини печі і здійснити десульфуріацію чавуну.

**Постановка задачі.** Розробити математичну модель формування воронки у слої чавуну в період випуску продуктів плавки та визначити особливості роботи горна доменної печі.

**Викладення матеріалу та його результати.** При інтенсивному ході доменної печі з витратою дуття від 2 до 2,2 м<sup>3</sup>/хвил. на 1 м<sup>3</sup> корисного об'єму, стовп коксу не досягає шару чавуну, а знаходиться в шарі шлаку (рисунок 1а). Свідомством цьому є те, що при зниженні витрати дуття стовп коксу опускається в шар чавуну і шматки коксу виходять спільно з продуктами плавки, при цьому вони часто перебивають канал льотки і випуск мимоволі зупиняється, для його продовження кисневими трубками очищають льотку (рисунок 1б). При повній зупинці ходу доменної печі стовп коксу при неглибокому мертвому шарі, ймовірно, сідає на нього.

При форсованій роботі печі кокс поступає у вогнище горіння зверху і від центру по конусній направляючій кута його природного укосу [2]. Нижня частина стовпа коксу має форму зворотного конуса, оскільки біля стін шматки палива спливають в результаті накопичення чавуну і шлаку після закриття льотки і газифікуються вогнищами горіння. Тому насадка в горні весь час відновлюється за рахунок руху коксу від центру по нижньому конусу до боків. Оновлення насадки в горні забезпечує активну його роботу і задовільні дренажні умови спільно з правильним режимом випусків продуктів плавки. При цьому піч забезпечує інтенсивний хід і максимальну продуктивність чавуну в тих або інших шихтових умовах.

У початковий період випуску формування воронки в чавуні в районі каналу чавунної льотки відбувається у вільному просторі без присутності коксової насадки. Розрахунок воронки виконаний в умовах форсованої роботи печі, коли активна вага стовпа шихти складає не більше 8-10% від всієї маси.

Для розрахунку часу утворення воронки і її профілю необхідно знати лінійну швидкість виходу чавуну через канал льотки і площу каналу чавунної льотки  $S_{ч.л.}$ . Лінії струму чавуну з початку випуску направлені у бік каналу, а лінії рівних швидкостей розташовані по півсферах (рисунок 2). Знаючи площу півсфер  $S_{пi}$ , по їх співвідношенню з площею каналу льотки можна розрахувати вертикальну і горизонтальну швидкість в будь-якій крапці, що знаходиться в районі з радіусом 1 м.

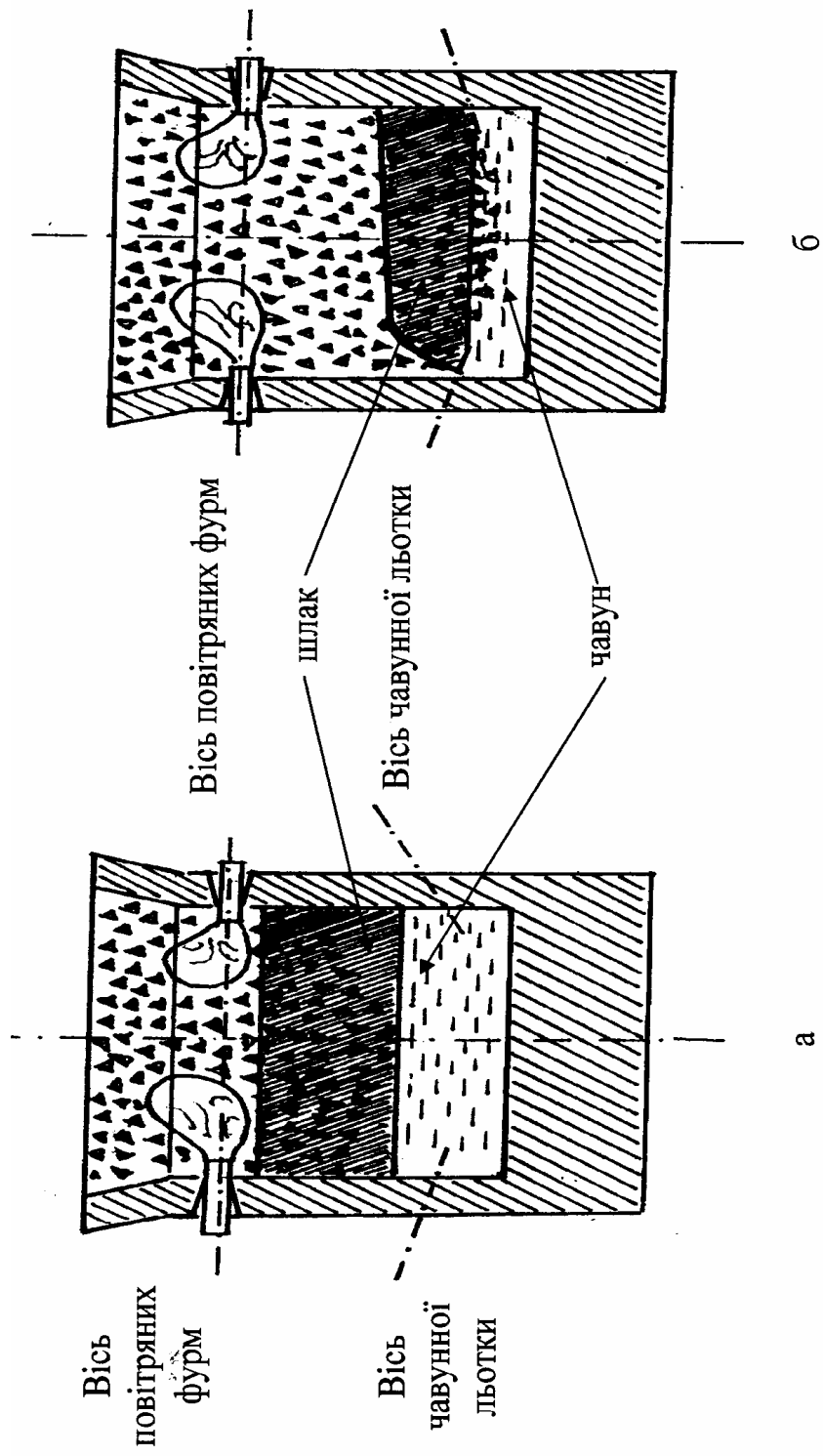


Рисунок 1 – Хід стовпа коксу в горні доменної печі під час випуску

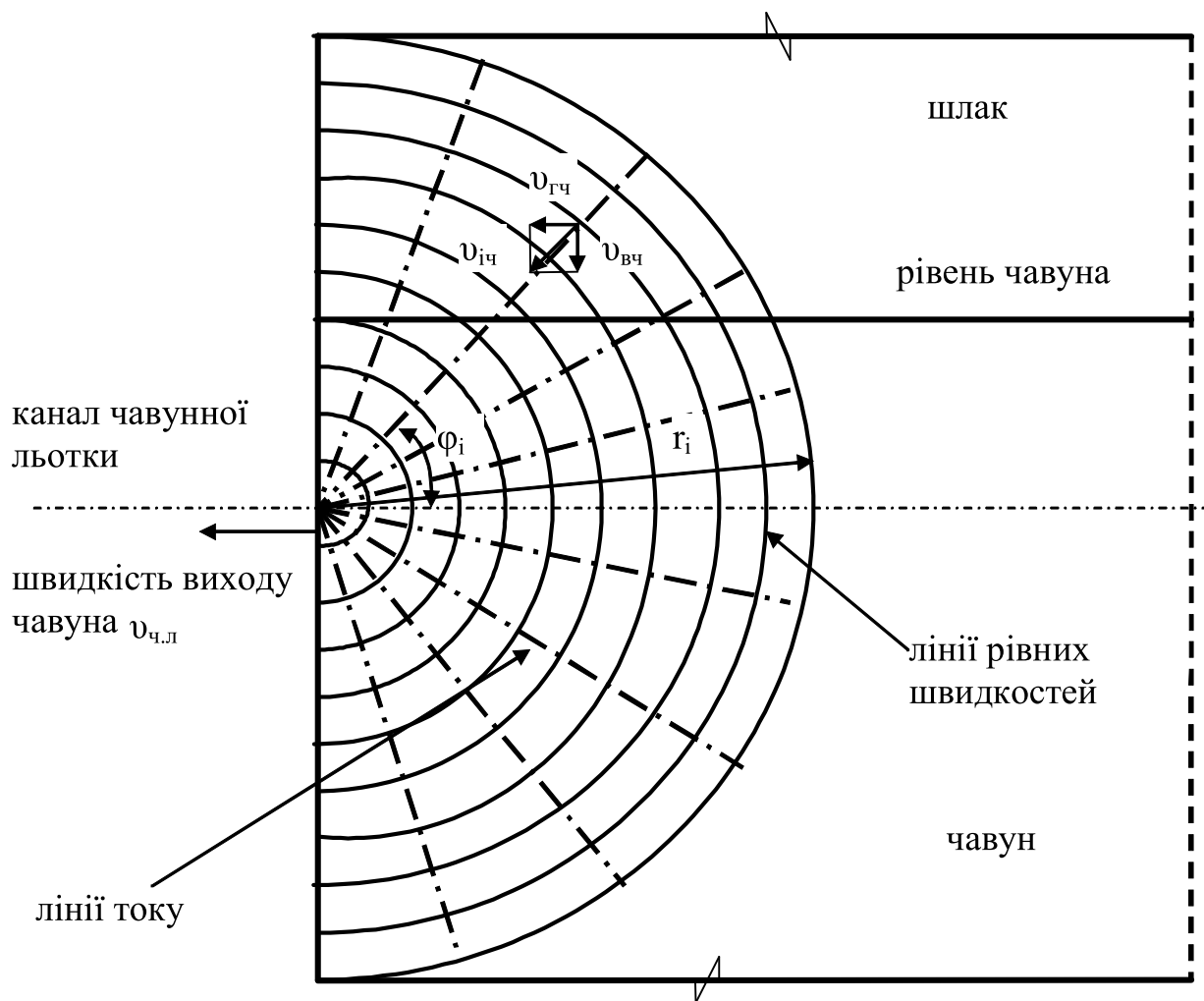


Рисунок 2 – Лінії рівних швидкостей та лінії току при випуску чавуна через канал льотки

Для спрощення методики розрахунку нехтуємо кривизною кола горна і вважатимемо, що витікання чавуну відбувається через канал льотки, розташованої в плоскій стінці. Помилка, що припускається при цьому, може бути визначена таким чином (рисунок 3).

При радіусі горна, припустимо  $r_2 = AO = 5,6\text{ м}$  і хорді (плоска стінка)  $AC = 1\text{ м}$

$$DC = DO - \sqrt{AO^2 - AC^2} = 5,6 - \sqrt{5,6^2 - 1^2} = 0,09\text{ м.} \quad (1)$$

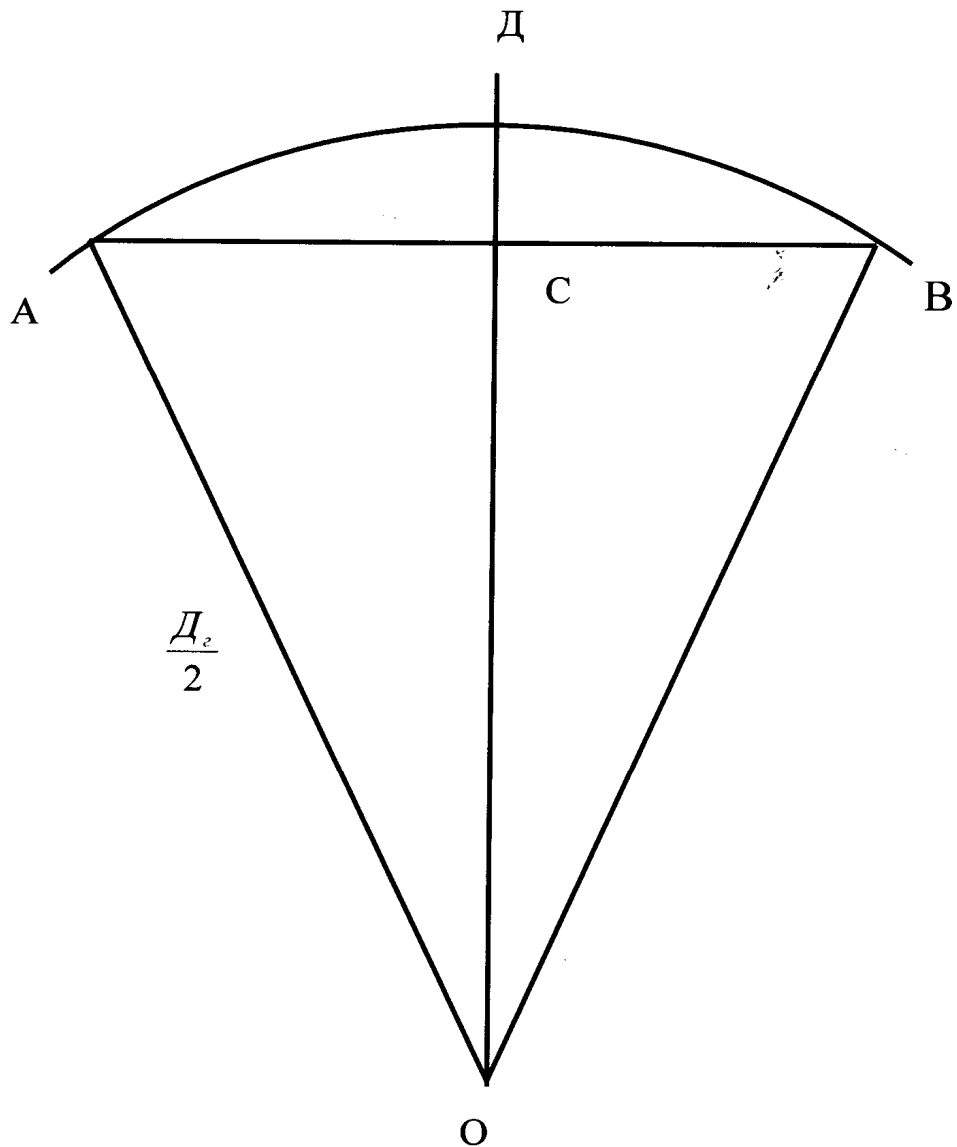


Рисунок 3 – Схема визначення помилки при обчислюванні площі полусфер

Помилка в визначенні площі півсфер ліній рівних швидкостей в шарі чавуну при прийнятих спрощеннях математичної моделі складе

$$\sigma = \frac{DC}{AO} 100\% = \frac{0,09}{5,6} 100\% \approx 1,61\%, \quad (2)$$

тобто не більше 2%, що прийнятне для металургійних розрахунків процесів, що протікають в горні печі.

Для визначення часу утворення чавунної воронки і її форми необхідно знати рівень чавуну перед початком випуску

$$h_{чз} = \frac{\theta_ч - q_ч \tau_в}{\rho_ч S_г}, \quad (3)$$

де  $h_{чз}$  – рівень чавуну в горні перед випуском, м;

$\theta_ч$  – кількість чавуну, виданого за випуск, т;

$q_ч$  – прихід чавуну в горн, т/хвил;

$\tau_в$  – час випуску чавуну, хвил;

$\rho_ч$  – щільність чавуну, т/м<sup>3</sup>;

$S_г$  – площа горна, м<sup>2</sup>.

Використовуючи сітку (рисунок 2) ліній рівних швидкостей і ліній струму можна розрахувати площу будь-якої півсфери по формулі

$$S_{н.сф} = 2\pi r_i^2, \quad (4)$$

де  $r_i$  – радіус півсфери у відліку від чавунної льотки, м.

Маючи площу каналу льотки і площу півсфер можна обчислити коефіцієнт пропорційності лінійної швидкості чавуну в горні.

При діаметрі льотки 60 мм в таблиці 1 приведені коефіцієнти пропорційності швидкості руху чавуну в будь-якій точці горна  $\kappa_{np}$  (півсфери з кроком радіусу по 100мм)

$$\kappa_{npi} = \frac{\pi r^2}{S_{н.сф}}, \quad (5)$$

де  $r$  – радіус льотки, м.

Таблиця 1 – Коефіцієнти пропорційності швидкості руху чавуна в горні

№ <sub>п.п</sub> полусфери	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
радіус $r_i$ , м	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
площа полусфери $S_{н.сф}$ , м <sup>2</sup>	0,063	0,251	0,565	1,005	1,571	2,262	3,079	4,021	5,089	6,283
$\kappa_{np} 10^{-2}$	4,44	1,12	0,50	0,28	0,18	0,12	0,09	0,07	0,06	0,04

Лінійна швидкість в горні на будь-якій лінії рівних швидкостей у напрямі до каналу чавунної льотки матиме вигляд

$$v_{i\text{ч}} = v_{\text{чл}} K_{np}. \quad (6)$$

Знаючи лінійну швидкість в шарі чавуну в горні печі можна визначити вертикальну швидкість в будь-якій фіксованій точці об'єму горна

$$v_{i\text{вч}} = v_{i\text{ч}} \sin \varphi_i, \quad (7)$$

де  $\varphi_i$  – кут нахилу вектора лінійної швидкості  $v_i$  у напрямі до каналу льотки.

Для визначення динаміки зміни розмірів чавунної воронки в період випуску продуктів плавки необхідно по висоті шару чавуну визначити середню лінійну вертикальну швидкість зменшення рівня чавуну в будь-якому секторі воронки, що утворюється.

Вертикальні лінійні швидкості апроксимуються виразом

$$K_{i\text{вч}} = a H^{-\epsilon}. \quad (8)$$

Визначаємо вираз для середнього коефіцієнта пропорційності, використовуючи теорему про середнє для визначеного інтеграла

$$\overline{K_{i\text{вч}}} = \frac{a}{(H_2 - H_1)} \int_{H_1}^{H_2} H^{-\epsilon} dH = \frac{a}{(H_2 - H_1)(1-\epsilon)} (H_2^{1-\epsilon} - H_1^{1-\epsilon}). \quad (9)$$

Час утворення воронки в шарі чавуну визначається виразом

$$\tau_{\epsilon} = \frac{h_{\text{ч}}}{v_{\text{чл}} K_{i\text{вч}}}, \quad (10)$$

де  $h_{\text{ч}}$  – рівень чавуну в горні, м;

$v_{\text{чл}}$  – швидкість виходу чавуну, м/хвил;

$\overline{K_{i\text{вч}}}$  – значення середнього коефіцієнта пропорційності.

Чавун під шаром шлаку практично витікає майже до горизонтальної поверхні. За випуск в шлаку утворюється депресивна воронка [3], і при прориві газів через канал льотки випуск закривають.



У горні залишається шлак з найбільшим рівнем з протилежної від льотки сторони (рисунок 4а).

Після закриття льотки похила поверхня шлаку зберігається. Вирівнюванню поверхні шлаку перешкоджає його порівняно висока в'язкість і недостатня дренажна здатність коксової насадки. Під дією гідростатичних сил тиску шлаку поверхня чавуну скривлюється. Рівень чавуну піднімається з боку льотки, через яку здійснювали випуск (рисунок 4б). При нормальній дренажній здатності коксової насадки в горні депресивна воронка вирівнюється до початку наступного випуску, і поверхня чавуну і шлаку стає горизонтальною.

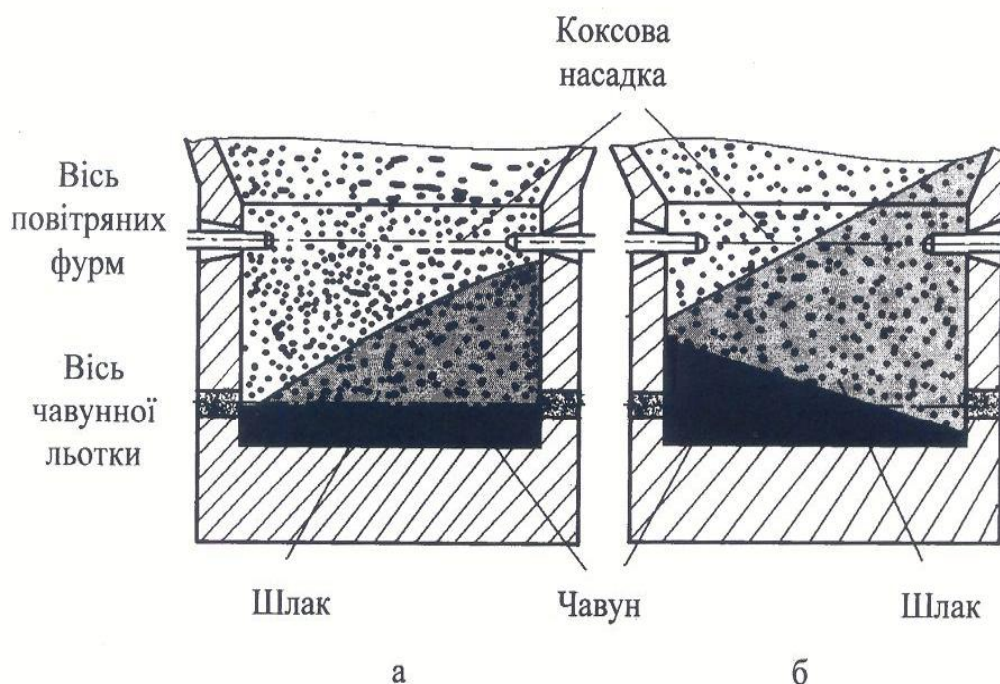


Рисунок 4 – Вплив депресивної воронки шлаку на зміни рівню рідкого чавуна в горні

При низькій міцності і дренажній здатності коксу шлак поволі перетікає із зони з вищим рівнем в зону з низьким рівнем поверхні. Депресивна воронка не встигає вирівнятися до наступного випуску. При накопиченні розплаву в горні рівень шлаку із сторони, протилежній льотці, досягає осі повітряних фурм. Шлак відкидається потоком повітря з периферійної зони горна з високими температурами в його центральну частину, де температури нижчі. В результаті охолодження в'язкість шлаку підвищується, і захаращування горна посилюється. Рівень чавуну з боку льотки, через яку проводився випуск, піднімається швидше, ніж в інших зонах, і може досягти повітряних фурм. Торкання чавуном фурми приводить до її негайного прогару. Цим пояснюється велика кількість

прогарів фурм над льоткою. Спарений випуск дозволяє видалити шлак, що скупчився з протилежної сторони, і повернути горизонтальну поверхню чавуну і шлаку. При цьому знижується вірогідність прогара повітряних фурм над льоткою і припиняється перекидання шлаку в центральну непрогріту частину горна. По суті, друга чавунна льотка при спареному випуску виконує функції шлакової льотки. При спареному випуску слід чекати переважний вихід шлаку через другу льотку.

**Висновки та напрямлення подальших досліджень.** Отримані закономірності зміни товщини слою чавуну та шлаку в період їх випуску. Знайдений вплив зміни рівня продуктів плавки на стійкість повітряних фурм. Подалі необхідно проведення досліджень впливу особливостей роботи горна на техніко-економічні показники доменної печі.

### **Бібліографічний список**

1. Новохатский А.М. Проблемы доменного производства Украины / А.М. Новохатский // Сборник научных трудов Донбасского горно-металлургического института. – Алчевск, 2001. – № 13. – С. 156-158.

2. Маханек Н.Г. О соотношении сил, действующих на столб шихтовых материалов в доменной печи / Н.Г. Маханек, О.П. Онорин., К.Д. Коновалов // Изв. ВУЗов. Чёрная металлургия. – 1966. – №10. – С. 8-10.

3. Новохатский А.М. Аналитический метод определения изменения размеров шлаковой депрессионной воронки в период выпуска продуктов плавки из горна доменной печи / А.М. Новохатский // Металл и литьё Украины. – 2008. – №5. – С.47-50.