

Алтухов В. М., Боровік П. В.

## СУЧАСНІ НАПРЯМИ РОЗВИТКУ МЕТАЛУРГІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ДРОБЛЕННЯ АГЛОМЕРАТУ

*У статті розглянуті сучасні напрями розвитку металургійного устаткування для дроблення агломерату. Для дроблення пирога агломерату на металургійних підприємствах застосовуються одновалкової зубчасті дробарки і цоккові дробарки. Найбільш поширені одновалкової зубчасті дробарки, у яких простіше конструкція, вище надійність роботи, менше енергетичні витрати при дробленні. При дробленні агломерату одночасно з шматками оптимальних розмірів утворюється значна кількість дрібниці і шматків великої крупності. Дрібницю необхідно фільтрувати. Великі шматки агломерату погіршують процес плавки в доменній печі, при їх транспортуванні утворюються пилові фракції. Розроблено конструкції дробарок, в яких процес дроблення здійснюється шляхом руйнування в значній мірі під дією згинальних навантажень (з меншими енерговитратами), з подальшим продавлюванням шматків агломерату через зазори в колосникових ґратах. Дроблення пирога агломерату в цих дробарках проходить по ослабленим ділянкам (нааявність тріщин, пор, концентраторів напружень тощо). Це дозволяє підвищити міцність дробленого агломерату. В умовах фізичного моделювання на експериментальній моделі перевірено ефективність запропонованих розробок. При дробленні пінобетону на фізичній моделі встановлено, що енерговитрати при установці колосників в одній горизонтальній площині в порівнянні з установкою колосників на різній висоті будуть на 9-12 % більше. Застосовуючи теорію подібності, можна перенести результати на промислову дробарку. В процесі виробничих випробувань встановлено, що при руйнуванні згинальними навантаженнями в порівнянні з руйнуванням агломерату шляхом зрізу, міцність отриманого дробленого агломерату на 3,2 % вище. При цьому споживана потужність приводу при роботі запропонованих дробарок - на 4,8 % менше. Також розроблена дробарка, в якій по осях симетрії зазору між колосниками розміщені додаткові руйнуючі елементи у вигляді загострених клинів, при роботі її утворюється більш рівномірний фракційний склад дробленого агломерату. Удосконалення одновалкових зубчастих дробарок ефективно в зв'язку з дуже великими обсягами агломерату на металургійних заводах України.*

**Ключові слова:** агломерат, дроблення, одновалкова зубчаста дробарка, вигин, зріз.

**Актуальність дослідження.** Однією з найважливіших промислових галузей України є чорна металургія. Враховуючи високу конкуренцію на внутрішньоукраїнському і світовому ринку, чинник собівартості і якості виробленої металургією продукції є дуже важливий. Тим більше, що близько 80 % українського металу йде на експорт. Проблема зниження собівартості продукції є актуальна. При цьому якість та споживчі показники сировини безпосередньо впливають на собівартість чавунів та сталей.

Важливою ділянкою в металургійному циклі є агломераційне виробництво. Агломерат – це сировина для виплавки чавунів в доменних печах. Якість агломерату значно впливає на кінцеві результати виробництва на підприємстві. На сьогоднішній день агломерація є найбільш вживаним способом підготовки шихти для процесу виплавки чавуну. Від якості агломерату (насамперед, це зміст заліза і фракційний склад) залежить ефективність роботи доменних печей. Без якісного агломерату неможливо впровадити сучасні ресурсозберігаючі технології, знизити питомі витрати коксу, підвищити конкурентоспроможність товарного чавуну [1, 2]. Використання агломерату в доменній плавці забезпечує формування шару шихти хорошої газопроникності, що є обов'язковою умовою високопродуктивної роботи доменної печі.

Розробка нової та вдосконалення існуючої дробильно-подрібнювальної техніки є актуальним у зв'язку з великими обсягами агломерату на металургійних заводах.

**Постановка проблеми.** При дробленні агломерату разом з шматками оптимальних розмірів (20-40 мм) утворюється значна кількість дрібниці (0-5 мм) і великих шматків агломерату (80-500 мм) [3, 4, 5]. Наявність дрібниці в доменній шихті істотно підвищує її газодинамічний опір і не дозволяє досягти високої продуктивності печі. Для відсіву дрібних фракцій подрібнений агломерат піддають просіванню. Великі шматки агломерату в доменній печі повільно нагріваються і погано відновлюються, що погіршує економічні показники доменної плавки. Крім того, великі шматки агломерату схильні до руйнування з утворенням пилу в умовах транспортування на всьому протязі аж до завантаження в доменну піч.

В даний час в технологічно розвинених країнах (Японія, Франція, Італія, Німеччина тощо) для плавки використовують агломерат, в основному, розміром 5-35 мм, а фракції 0-5 мм міститься не більше 5-7 %. Це

забезпечує менший питомий винос пилу з колошника і найвищі техніко-економічні показники роботи доменної печі [1, 3].

Для зниження витрат на виплавку чавуну і підвищення ефективності роботи доменних печей потрібно використовувати агломерат оптимального фракційного складу. Зниження енерговитрат при дробленні агломерату також знизить собівартість чавуну. Від крупності агломерату залежить його відновлюваність, що впливає на витрату коксу при виробництві чавуну.

Для дроблення агломерату на металургійних підприємствах використовуються однороторні валкові дробарки (зубчаті) та щоків дробарки.

Удосконалення щоків дробарок призводить до ускладнення їх конструкцій і зниження надійності роботи, що дуже важливо для безперервного виробництва. Крім того, за даними досліджень ДонНДІчормету (м. Донецьк) при температурі понад 800 °С нижній шар пирога надходить в дробарку в пластичному стані, що погіршує якість дроблення: окремі шматки агломерату виходять з дробарки у вигляді пластин.

Відомо, що найбільш поширена конструкція одновалкової зубчастої дробарки в повній мірі не задовольняє технологічним вимогам доменної плавки відносно фракційного складу готового агломерату (причини – неузгодження фізико-механічних властивостей агломерату з прикладеною енергією руйнування, нерациональна форма робочої зони дробарки тощо). А це збільшує витрату коксу на плавку і знижує собівартість виробництва чавуну. Низька якість доменної сировини обумовлена конструкцією одновалкової зубчастої дробарки.

**Теоретичний аналіз дослідження.** На вітчизняних аглофабриках велике поширення для подрібнення гарячого агломерату отримали одновалкові зубчасті дробарки, що виробляються трьох основних типорозмірів – для агломерату шириною 2 м; 2,5 м; 4 м с продуктивністю 135 т/год; 200 т/год; 500 т/год.

За наявними даними [6] зменшення вмісту дрібниці (фракції 0-5 мм) на кожен 1 % підвищує продуктивність доменної печі на 1, 3 % і знижує витрату коксу на 0, 5 %. Таким чином, зниження вмісту фракцій 0-5 мм в агломераті з 14 % до 9 % забезпечить підвищення інтенсивності плавки на 6,5 % і знизить витрату коксу на 2,5 %.

Порівняно з щоківими дробарками одновалкові зубчасті дробарки мають простоту конструкції, високу надійність, зменшені енерговитрати. Це вказує на їх перспективність.

Використовуючи типові конструкції, можна провести удосконалення механічного обладнання агломераційних цехів з найменшими матеріальними та тимчасовими витратами, що дозволить проводити модернізацію в умовах діючого металургійного підприємства. Таким чином можна підвищити ефективність роботи одновалкової зубчастої дробарки для дроблення агломерату, вносячи в її конструкцію зміни.

Для підвищення виходу придатного агломерату та зниження виходу дрібних фракцій необхідно підвищити механічну міцність агломерату.

Якщо розраховувати енерговитрати на дроблення агломерату теоретично (по енергії зв'язку атомів між собою), то вони будуть багаторазово вище, ніж одержані при практичних дослідженнях. Це обумовлено наявністю тріщин і дефектів структури матеріалу.

**Мета статті.** Викласти сучасні напрями розвитку обладнання для дроблення агломерату, підвищити ефективність роботи одновалкових зубчастих дробарок, знизити енерговитрати, покращити гранулометричний склад дробленого агломерату.

**Задачі дослідження.** Розробити теоретичне обґрунтування удосконалення обладнання для дроблення агломерату. Навести способи підвищеної ефективності дроблення агломерату в одновалкових зубчастих дробарках. Провести перевірку способів дроблення в умовах фізичного моделювання на моделі одновалкової зубчастої дробарки.

**Викладення основного матеріалу дослідження.** Основні енергетичні гіпотези дроблення, запропоновані П. Рітінгером, В. Л. Кирпичевим і Ф. Кіком, П. Ребіндером, Ф. Бондом, А. К. Рундквістом, не враховують вид впливу на матеріал, який дроблять, з боку робочих органів дробильно-подрібнювальної машини (удар, злам, розчавлювання, розколювання, стирання). Енергоємність процесу руйнування (на відміну від вищеперелічених гіпотез дроблення) залежить від виду впливу на матеріал (розтягнення, стиснення, вигин тощо). Від того, який вид впливу реалізується в дробильно-подрібнювальній машині і яка частка якого з видів руйнування реалізується в даний момент в конкретних умовах, від міцності подрібнюваного матеріалу (величини допустимих напружень), буде визначатися енергоємність процесу. Її можна поррахувати приблизно (через частку участі того чи іншого виду руйнування), ще будуть спотворюватися енерговитрати, якщо при одноразовому впливі матеріал не зруйнується, а зусилля було докладено і енергія витрачена).

Робота, витрачена на подрібнення, залежить не тільки від виду подрібнюваного матеріалу, а й від виду дробильно-подрібнювальної машини.

Агломераційний пір'я – це тверде, крихке, пористе, багатофазне тіло с напруженою структурою і тріщинами, що знаходяться в рівновазі. При накладенні зовнішніх навантажень тріщини ростуть до критичного розміру, а потім миттєво поширюються до моменту руйнування шматка агломерату. Пори, які є в агломераті, зменшують площу, що припадає на тверду фазу, і зупиняють зростання і поширення тріщин за рахунок зниження напруги при перетині пір тріщиною, яка рухається.

При руйнуванні агломерату тріщини утворюються по ослабленим перетинам. Незважаючи на те, що вплив на руйнування надає процес дроблення, гранулометричний склад кінцевого продукту багато в чому буде

визначатися випадковими чинниками, такими як концентратори напружень, наявність тріщин в пирозі агломерату, порами.

Розміри агломерату, що йде згодом на доменну плавку, визначаються способом дроблення на конкретної дробильної машині.

Для дослідження механізму впливу виду робочих органів дробарки та режимів роботи на процес дроблення можна використовувати феноменологічне моделювання. Розглянув взаємодію агломерату, що подрібнюється, і робочого органу дробарки, відзначимо різний фізико-механічний стан поверхонь контакту. Під дією навантажень з боку агломерату поверхня робочих органів деформується пружно, а агломерат, в зоні контакту з робочими органами дробарки, знаходиться в стані крихкого руйнування. Таким чином, процес подрібнення характеризується силовою взаємодією шорткого пружного (робочі органи дробарки) і крихкого (агломерат) напівпросторів, які рухаються з деякою швидкістю відносно один одного. Ці два стани є домінуючими в реальному контакті тіл: робочі органи – матеріал, який подрібнюється. Інші чинники (анізотропія властивостей матеріалу, крупність вихідних шматків матеріалу, конструктивне виконання робочих органів, розташування шматків матеріалу один щодо одного тощо), які безсумнівно, надають свій вплив, будуть вторинними.

Утворення дрібниці виникає внаслідок роздавлювання значної частини агломерату о колосники, а не відламування пирога відносно його консольної частини. При цьому відбувається інтенсивний знос зубів робочих органів. Бажано при дробленні агломерату руйнувати його не накладенням стискаючих навантажень, а з використанням згинальних та розтягувальних навантажень, це забезпечить зниження навантажень на робочі органи і інші деталі дробарки. Для крихких матеріалів межа міцності на стиск значно вище, ніж межі міцності на вигин та розтягнення.

Фізична основа функціонального впливу умов дії на матеріал при його подрібненні полягає в зміні енергоємності молекулярно-механічних процесів в камері дробарки, що обумовлює вибір конструкції робочої камери, форми робочих органів і режимів роботи.

При створенні нових або удосконаленні відомих дробильно-подрібнювальних машин доводиться вирішувати протилежні задачі: підвищення ефективності роботи та надійності дробарки і зниження затрат. Компромісні рішення враховують як інтереси заводу-замовника, що експлуатує машини, так і інтереси заводу-виготовлювача.

Оцінимо ступінь дроблення в одновалкової зубчастій дробарці за формулою:  $i = D/\delta$ , де  $D$ ,  $\delta$  – розміри, відповідно, вихідного матеріалу і готового продукту.

З огляду на початкові розміри пирога агломерату (2000 мм × 1000 мм × 320 мм) та середній розмір оптимальної фракції агломерату після дроблення (20-40 мм), отримуємо  $i$  близько 50-100.

На рис. 1 показана одновалкова зубчаста дробарка з колосниковою решіткою [1, 3, 4, 7], яка має рівні по висоті колосники.



Рисунок 1 – Одновалкова зубчаста дробарка, в якій колосники розміщені в одній площині

Продуктивність одновалкової зубчастій дробарки для гарячого агломерату визначають за формулою [7]:

$$Q = 60 \cdot \pi \cdot D \cdot n \cdot B \cdot S \cdot \rho \cdot \psi, \quad (1)$$

де  $D$  – діаметр зірочки, м;

$n$  – частота обертання ротора;

$B$  – робоча довжина ротора;

$S$  – розмір розвантажувальної щілини;

$\rho$  – щільність агломерату, т/м<sup>3</sup>;

$\psi$  – коефіцієнт, що враховує розпушення матеріалу і використання довжини ротора.

$\psi = 0,2-0,6$  [7].

Потужність приводного електродвигуна визначають за формулою [7]:

$$N_{os} = K_N \cdot B \cdot D \cdot n, \quad (2)$$

де  $K_N$  – експериментальний коефіцієнт для агломерату середньої міцності.

$K_N$  прийнято рівним 2 [7].

У цієї дробарки руйнування аглоспеку відбувається переважно шляхом продавлювання (зрізу) крізь колосникову решітку, що є більш енерговитратним в порівнянні з руйнуванням згином або ламанням агломерату по тріщинам з використанням концентраторів напружень.

Недоліком цих відомих конструкцій одновалкових зубчастих дробарок [3, 4, 5, 7, 8] є підвищені енерговитрати процесу дроблення та значні навантаження на робочі органи та інші вузли і деталі дробарки.

Розроблено спосіб дроблення агломерату в одновалковій зубчастій дробарці [9], в якому на аглоспек накладають ламаючі зусилля, що забезпечуються різною висотою колосників в повздовжньому напрямку до руху аглоспеку. При цьому підвищується надійність роботи дробарки і зменшуються енерговитрати процесу дроблення.

На рис. 2 наведена схема дроблення агломерату в одновалковій зубчастій дробарці з колосниковою решіткою, яка має в повздовжньому напрямку до руху пирога агломерату різні по висоті колосники. Одновалкова зубчаста дробарка містить корпус з направляючою плитою 1, колосникову решітку 2, ротор 3 з зубчатыми робочими органами. Колосникова решітка 2 має в повздовжньому напрямку до руху пирога агломерату різні по висоті колосники.

Робота цієї дробарки полягає у наступному.

Пиріг агломерату 4, що підлягає дробленню, рухається в робочу зону по направляючій плиті 1. Коли він надходить на колосникову решітку 2, то потрапляє під дію зубців робочих органів ротору 3, що обертається. Для покращення умов руйнування на пиріг агломерату 4 за рахунок різної висоти колосників в колосниковій решітці 2 накладаються ламаючі зусилля. Таким чином руйнування пирогу агломерату 4 відбувається шляхом зламу (з меншими енерговитратами) та продавлювання шматків агломерату (з більшими енерговитратами) через зазори в колосниковій решітці 2. У зв'язку з різною висотою колосників, попередньо відламані (на колосниках, що мають більшу висоту) шматки агломерату падають вниз на колосники, які мають меншу висоту. Далі відбувається їх остаточне дроблення і вихід з робочої зони через колосникову решітку 2. При цієї конструкції дробарки досягається подрібнення агломерату 4 з меншими енерговитратами.

Розглянутий принцип дроблення агломерату дозволяє досягти зменшення навантаження на робочі органи і деталі дробарки, знизити енерговитрати процесу дроблення, що підвищить надійність та довговічність роботи одновалкової зубчастій дробарки в умовах безперервного металургійного виробництва при менших витратах електроенергії на процес дроблення.

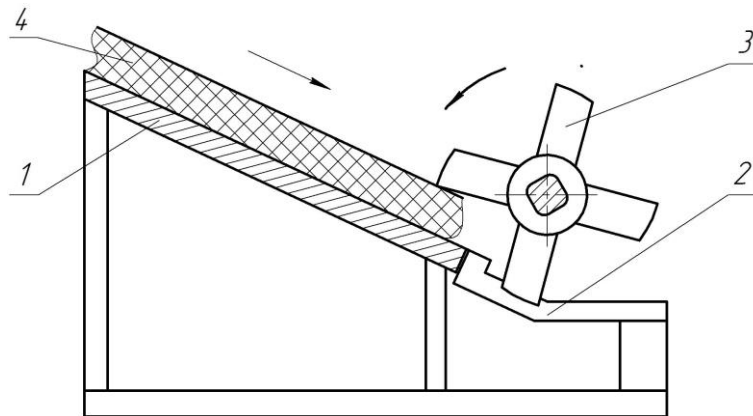


Рисунок 2 – Схема дроблення агломерату в одновалковій зубчастій дробарці з колосниковою решіткою, яка має в повздовжньому напрямку до руху пирога агломерату різні по висоті колосники

Розроблено спосіб дроблення агломерату в одновалковій зубчастій дробарці [10], який містить продавлювання скрізь колосники, при цьому на агломерат додатково накладають ламаючі зусилля у поперековому напрямку до руху агломерату.

На рис. 3 показано одновалкову зубчасту дробарку для реалізації цього способу. На рис. 4 наведена схема розміщення колосників в поперековому напрямку до руху агломерату (колосники 5 виконані різними за висотою).

Одновалкова зубчаста дробарка містить корпус з направляючою плитою, колосникову решітку, ротор з зубчатыми робочими органами. Колосникова решітка має в поперековому напрямку до руху пирога агломерату 4 різні по висоті колосники 5 (рис. 4).



Рисунок 3 – Одновалкова зубчаста дробарка, в якій колосники мають різну висоту

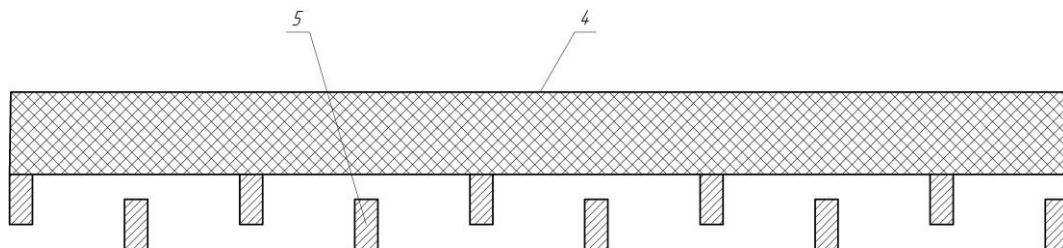


Рисунок 4 – Схема розміщення колосників 5 різної висоти в поперековому напрямку до руху агломерату 4

Робота цієї дробарки полягає у наступному.

Пиріг агломерату 4, що підлягає дробленню, рухається в робочу зону по направляючій плиті. Коли він надходить на колосникову решітку, то потрапляє під дію зубців робочих органів ротору, що обертається. Для покращення умов руйнування на пиріг агломерату 4 за рахунок різної висоти колосників 5 в колосниковій решітці накладаються ламаючі зусилля. Таким чином руйнування пирогу агломерату 4 відбувається шляхом зламу з наступним продавлюванням шматків агломерату через зазори в колосниковій решітці. При цій конструкції дробарки досягається подрібнення агломерату 4 з меншими енерговитратами.

Розглянутий принцип дроблення агломерату дозволяє досягти зменшення навантаження на робочі органи і деталі дробарки, знизити енерговитрати процесу дроблення, що підвищить надійність та довговічність роботи одновалкової зубчастої дробарки в умовах безперервного металургійного виробництва при менших витратах електроенергії на процес дроблення.

У розробленому способі дроблення агломерату в одновалковій зубчастій дробарці [10], завдяки накладанні ламаючих зусиль у поперековому напрямку до руху агломерату, підвищується доля руйнування агломерату менш енергоємним процесом зламу замість зрізу, що скорочує енерговитрати, зменшує навантаження на робочі органи дробарки і знижує долю небажаних мілких та крупних фракцій.

Розроблено спосіб дроблення агломерату в одновалковій зубчастій дробарці [11], при якому підвищується рівномірність гранулометричного складу дробленого агломерату. Зменшення крупності великих шматків агломерату досягається за допомогою розколюючих зусиль, накладених по вісі симетрії зазору між колосниками у зустрічному напрямку до руху дробленого агломерату. Відстань між колосниками та гострими кінцями руйнуючих упорів (виконані у вигляді загострених клинів) є визначальним відносно заданої крупності дробленого агломерату.

На рис. 5 наведена схема розміщення агломерату під час дії на нього додаткових зусиль від руйнуючих елементів у вигляді загострених клинів.

Робота цієї дробарки полягає у наступному.

Пиріг агломерату, що підлягає дробленню, рухається в робочу зону по направляючій плиті. Коли він надходить на колосникову решітку, то потрапляє під дію зубців 3 робочих органів ротору, що обертається, і продавлюється вниз між колосниками 2. При дробленні пирогу агломерату утворюються шматки агломерату 4, найбільші розміри яких проходять між колосниками 2 і є крупними, що не відповідає вимогам для агломерату на доменну плавку. Для покращення гранулометричного складу дробленого агломерату по вісі симетрії зазору між колосниками 2 розміщені додаткові руйнуючі елементи (упори), наприклад, у вигляді загострених клинів 5. На попередньо отримані великі шматки агломерату 4 далі по вісі симетрії зазору між колосниками накладаються додаткові зусилля від загострених клинів 5 у зустрічному напрямку до руху дробленого агломерату. При руху вниз під дією зубців 3 робочих органів ротору великі шматки 4 агломерату на своєму шляху зустрічають гострі клини 5, впираються в них і руйнуються на значно менші шматки по розміру. Найбільші розміри шматків агломерату 4 виходять такими, що можуть проходити через зазори між колосниками 2 і загостреними клинами 5.

Розміри шматків агломерату визначаються відстанню між колосниками 2 і упорами 5, залежать від кількості упорів 5, їх форми, взаємного розміщення між колосниками 2.

Спосіб дроблення агломерату в одновалковій зубчастій дробарці [11] дозволяє підвищити рівномірність гранулометричного складу дробленого агломерату за рахунок відсутності крупних шматків агломерату 4. При цьому покращуються умови транспортування та перевантаження дробленого агломерату через менше самоздрібнення шматків агломерату, тому що менші шматки мають меншу масу і меншу енергію при зіткненні з іншими шматками.

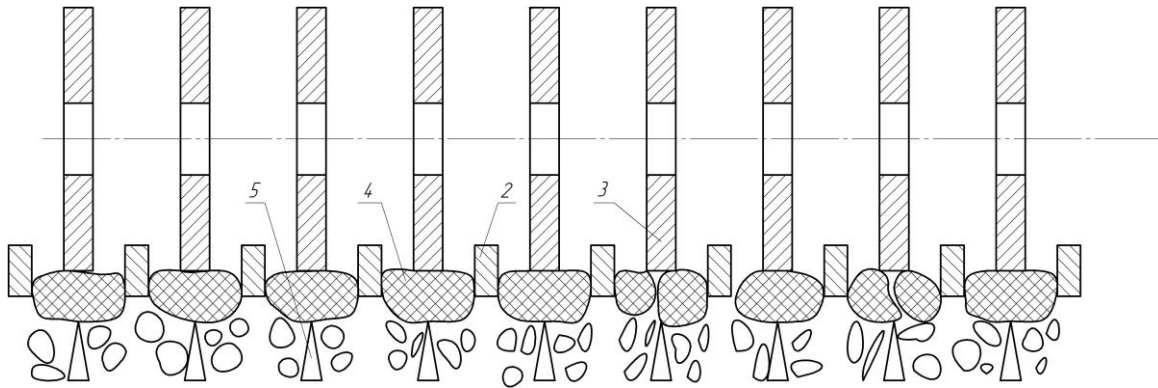


Рисунок 5 – Схема розміщення агломерату під час дії на нього додаткових зусиль від руйнуючих елементів у вигляді загострених клинів

Для проведення експериментальних досліджень в умовах фізичного моделювання використовувалася модель одновалкової зубчастої дробарки [12]. Розміри моделі в 10 разів менше, ніж дробарка, яка використовується в металургійному виробництві. В цьому випадку треба застосовувати основні положення теорії подібності, яка визначає ознаки подібності між процесами і визначає область, в межах якої поширення даних з моделювання на реально використовуваний процес буде коректним.

На рис. 6 показана модель одновалкової зубчастої дробарки.



Рисунок 6 – Модель одновалкової зубчастої дробарки

Модель одновалкової зубчастої дробарки складається з корпусу, площині, що направляє, горизонтального валу з зірочками (кожна має чотири зуба) і колосникової решітки. Чотири зірочки діаметром 130 мм, шириною 8 мм, товщиною 30 мм, колосники висотою 25 мм і шириною 8 мм. Експерименти при фізичному моделюванні проводила Левченко О. О. В якості матеріалу для дроблення застосовувався пінобетон у вигляді нарізаних плиток різної товщини.

На рис. 7 наведена модель одновалкової зубчастої дробарки, в якій колосники розміщені в одній площині.

На рис. 8 показана модель одновалкової зубчастої дробарки, в якій колосники мають різну висоту.

Експерименти проводилися за методикою однофакторного експерименту.

Критерієм оцінки ефективності варіантів були питома витрата електроенергії (кВт/кг) на дроблення, крупність готового продукту при розташуванні верхньої поверхні колосників в одній площині (рис. 7) і з перепадом висот колосників (рис. 8), крутний момент в період руйнування плиток пінобетону.

При перепаді висот колосників питомі енерговитрати були менше на 10-11 %, ніж при розташуванні верхньої поверхні колосників в одній площині.

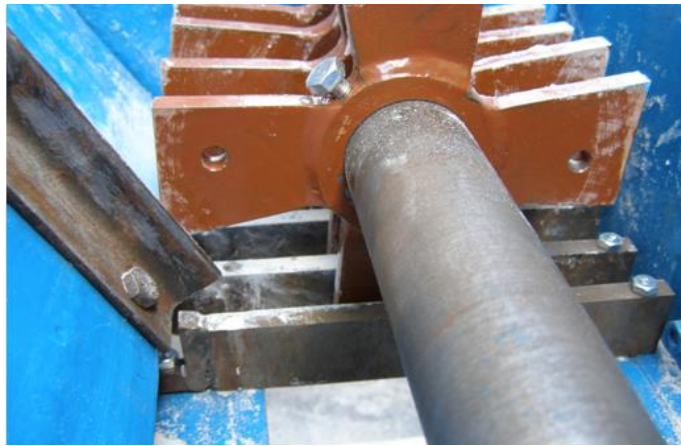


Рисунок 7 – Модель одновалкової зубчастої дробарки, в якій колосники розміщені в одній площині

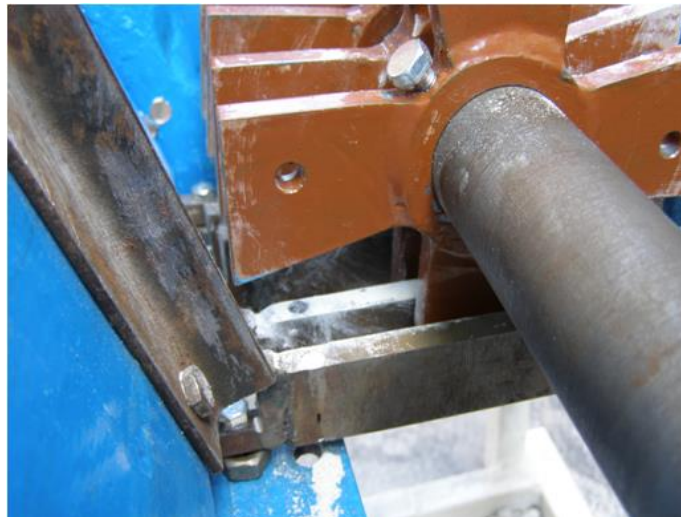


Рисунок 8 – Модель одновалкової зубчастої дробарки, в якій колосники мають різну висоту

Замість руйнування агломерату за рахунок зрізу (продавлювання) у дробарках [9, 10] був організований процес зламу.

При використанні способів дроблення в одновалковій зубчастій дробарці, в якій процес руйнування агломерату проходить в основному шляхом зламу замість зрізу (продавлювання) у формулі (2) експериментальний коефіцієнт  $K_N$  для агломерату середньої міцності буде менше, ніж 2. Для точного визначення величини  $K_N$  треба проводити тривалі виробничі дослідження.

Проведені виробничі дослідження в умовах металургійного підприємства показали, що міцність агломерату, що зруйнований шляхом зламу, на 3,2 % вище, ніж агломерат, зруйнований шляхом зрізу. Потужність електродвигуна при зруйнуванні агломерату шляхом зламу, на 4,8 % нижче, ніж при зруйнуванні шляхом зрізу.

Враховуючи значні об'єми виробництва, що досягають в Україні кілька десятків мільйонів тонн на рік, економічна ефективність від впровадження розробок на металургійних підприємствах складе мільйони гривень.

#### **Висновки.**

1. Енергоємність процесу руйнування залежить від виду впливу на матеріал (розтягнення, стиснення, вигин тощо), який реалізується в дробильно-подрібнювальній машині.
2. Як будь-яка дробильно-подрібнювальна машина має (якщо порівнювати процес подрібнення різних матеріалів) подрібнювальний матеріал з оптимальними характеристиками процесу подрібнення, так і для будь-якого матеріалу є своя оптимальна (найкраща з точки зору продуктивності, енерговитрат, гранулометричного складу тощо) дробильно-подрібнювальна машина.
3. При використанні одновалкової зубчастої дробарки, в якій дроблення агломерату проходить переважно шляхом зламу, а не зрізу, енерговитрати будуть на 4,8 % менше, міцність дробленого агломерату на 3,2 % більше.

4. Спільне використання накладок ламаючих зусиль у повздожньому і поперековому напрямку до руху агломерату за рахунок об'ємного руйнування агломерату по тріщинам, дислокаціям, концентраторам напружень тощо, дозволить підвищити ефективність дроблення агломерату, знизити енерговитрати, підвищити міцність готового продукту.

### Література

1. Мищенко И. М. Состояние и основные направления повышения технического уровня агломерационного производства предприятий чёрной металлургии Украины. *Металлургические процессы и оборудование*. 2005. № 1 (1). С. 23-26.
2. Алтухов В. Н. Повышение эффективности дробления агломерата. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. Луганськ*. 2009. № 8 (138). Ч. 2. С. 9-13.
3. Коротич В. И., Фролов Ю. А., Бездежский Г. Н. Агломерация рудных материалов Екатеринбург: ГОУ ВПО «УГТУ-УПИ», 2003. 400 с.
4. Губанов В. И., Цейтлин А. М. *Справочник рабочего-агломератчика*. Челябинск: Металлургия, 1987. 207 с.
5. Алтухов В. Н., Левченко О. А. Пути повышения эффективности дробления агломерата в одновалковой зубчатой дробилке. *Разработка рудных месторождений. Научно-технический сборник*. 2005. Вып. 89. С. 151-154.
6. Товаровский И. Г. Нормативная оценка влияния параметров доменной плавки на расход кокса и производительность. *Фундаментальные и прикладные проблемы чёрной металлургии. Сборник научных трудов*. Днепропетровск: ІСМ НАН України, 2014. Вып. 28. С. 117-131.
7. Жилкин В. П., Доронин Д. Н. Производство агломерата. *Технология, оборудование, автоматизация*. Екатеринбург: Уральский центр ПР и рекламы, 2004. 292 с.
8. Алтухов В. М., Левченко Е. П. Нові ефективні шляхи покращення якості фракційного складу готового агломерату при дробленні одновалковою зубчастою дробаркою. *Эффективность реализации научного, ресурсного и промышленного потенциала в современных условиях: материалы Шестой ежегодной Промышленной конференции с международным участием и блиц-выставки, п. Славское, Карпаты, 20-24 февраля 2006 г. Киев, 2006*. С. 15-17.
9. Спосіб дроблення агломерату в одновалковій зубчастій дробарці: пат. 9843 Україна: 7 В02С 4/10. № u200503314; заявл. 11.04.2005; опубл. 17.10.2005, Бюл. № 10. 2 с.
10. Спосіб дроблення агломерату в одновалковій зубчастій дробарці: пат. 9865 Україна: 7 В02С4/10. № u200503379; заявл. 11.04.2005; опубл. 17.10.2005, Бюл. № 10. 2 с.
11. Спосіб дроблення агломерату в одновалковій зубчастій дробарці: пат. 82363 Україна: МПК6 В02С4/10. № a200511819; заявл. 12.12.2005; опубл. 10.04.2008, Бюл. № 7. 2 с.
12. Левченко О. О. Підвищення ефективності дроблення агломерату шляхом удосконалення конструктивних параметрів одновалкової зубчастої дробарки: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.05.08 / Донец. нац. техн. ун-т. Донецьк, 2009. 20 с.

### References

1. Mishchenko I. M. Sostoyaniye i osnovnyye napravleniya povysheniya tekhnicheskogo urovnya aglomeratsionnogo proizvodstva predpriyatiy chernoy metallurgii Ukrainy. *Metallurgicheskiye protsessy i oborudovaniye*. 2005. № 1 (1). S. 23-26.
2. Altukhov V. N. Povysheniye effektivnosti drobleniya aglomerata. *Visnyk Skhidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu imeni Volodymyra Dalia. Luhansk*. 2009. № 8 (138). Ch. 2. S. 9-13.
3. Korotich V. I., Frolov Yu. A., Bezdezhskiy G. N. Aglomeratsiya rudnykh materialov Ekaterinburg: GOU VPO «UGTU-UPI». 2003. 400 s.
4. Gubanov V. I., Tseytlin A. M. *Spravochnik rabochego-aglomeratchika*. Chelyabinsk: Metallurgiya. 1987. 207 s.
5. Altukhov V. N., Levchenko O. A. Puti povysheniya effektivnosti drobleniya aglomerata v odnovalkovoy zubchatoy drobilke. *Razrabotka rudnykh mestorozhdeniy. Nauchno-tekhnicheskyy sbornik*. 2005. Vyp. 89. S. 151-154.
6. Tovarovskiy I.G. Normative assessment of the influence of blast-furnace smelting parameters on coke consumption and productivity. *Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy. Collection of scientific papers*. Dnipropetrovsk: ICHM NAS of Ukraine, 2014. Issue. 28. P.117-131.
7. Zhilkin V. P., Doronin D. N. Proizvodstvo aglomerata. *Tekhnologiya. oborudovaniye. avtomatizatsiya*. Ekaterinburg: Uralskiy tsentr PR i reklamy. 2004. 292 s.
8. Altukhov V. M., Levchenko E. P. Novi efektyvni shliakhy pokrashchennia yakosti fraktsiinoho skladu hotovoho ahlomeratu pry droblenni odnovalkovoiu zubchastoiu drobarkoiu. *Эффектыност realizatsyy nauchnoho, resursnoho y promyshlennoho potentsyala v sovremennykh usloviakh: materyaly Shestoi ezhehodnoi Promyshlennoi konferentsyy s mezhdunarodnym uchastyem y blyts-vystavky, p. Slavskoe, Karpaty, 20-24 fevralia 2006 h. Kyev, 2006*. S. 15-17.
9. Sposib droblennia ahlomeratu v odnovalkovii zubchastii drobartsi: pat. 9843 Ukraina: 7 V02S 4/10. № u200503314; zaiavl. 11.04.2005; opubl. 17.10.2005, Biul. № 10. 2 s.



10. Sposib droblennia ahlomeratu v odnovalkovii zubchastii drobartsii: pat. 9865 Ukraina: 7 V02S4/10. № u200503379; zaiavl. 11.04.2005; opubl. 17.10.2005, Biul. № 10. 2 s.
11. Sposib droblennia ahlomeratu v odnovalkovii zubchastii drobartsii: pat. 82363 Ukraina: MPK6 V02S4/10. № a200511819; zaiavl. 12.12.2005; opubl. 10.04.2008, Biul. № 7. 2 s.
12. Levchenko O. O. Pidvyshchennia efektyvnosti droblennia ahlomeratu shliakhom udoskonalennia konstruktyvnykh parametriv odnovalkovoi zubchastoi drobarky: avtoref. dys. ... kand. tekhn. nauk: 05.05.08 / Donetsk. nats. tekhn. un-t. Donetsk, 2009. 20 s.

*В статье рассмотрены современные направления развития металлургического оборудования для дробления агломерата. Для дробления пирога агломерата на металлургических предприятиях применяются одновалковые зубчатые дробилки и щековые дробилки. Наиболее распространены одновалковые зубчатые дробилки, у которых проще конструкция, выше надежность работы, меньше энергетические затраты при дроблении. При дроблении агломерата одновременно с кусками оптимальных размеров образуется значительное количество мелочи и кусков большой крупности. Мелочь необходимо отсеивать. Крупные куски агломерата ухудшают процесс плавки в доменной печи, при их транспортировке образуются пылевые фракции. Разработаны конструкции дробилок, в которых процесс дробления осуществляется путем разрушения в значительной степени под действием изгибающих нагрузок (с меньшими энергозатратами), с дальнейшим продавливанием кусков агломерата через зазоры в колосниковой решетке. Дробление пирога агломерата в этих дробилках проходит по ослабленным участкам (наличие трещин, пор, концентраторов напряжений). Это позволяет повысить прочность дробленого агломерата. В условиях физического моделирования на экспериментальной модели проверена эффективность предложенных разработок. При дроблении пенобетона на физической модели установлено, что энергозатраты при установке колосников в одной горизонтальной плоскости по сравнению с установкой колосников на разной высоте будут на 9-12 % больше. Применяя теорию подобия, можно перенести результаты на промышленную дробилку. В процессе производственных испытаний установлено, что при разрушении приложением изгибающих нагрузок по сравнению с разрушением агломерата путем среза, прочность полученного дробленого агломерата на 3,2 % выше. При этом потребляемая мощность привода при работе предложенных дробилок – на 4,8 % меньше. Также разработана дробилка, в которой по осям симметрии зазора между колосниками размещены дополнительные разрушающие элементы в виде заостренных клиньев, при работе её образуется более равномерный фракционный состав дробленого агломерата. Совершенствование одновалковых зубчатых дробилок эффективно в связи с очень большими объемами агломерата на металлургических заводах Украины.*

**Ключевые слова:** агломерат, дробление, одновалковая зубчатая дробилка, изгиб, срез.

*The article discusses the current trends in the development of metallurgical equipment for sinter crushing. Single-roll gear crushers and jaw crushers are used to crush the agglomerate cake at metallurgical enterprises. The most common single-roll gear crushers, which have a simpler design, higher operational reliability, and less energy consumption during crushing. When sintering sinter is crushed simultaneously with pieces of optimal size, a significant amount of fines and large pieces is formed. Trifle must be weeded out. Large pieces of agglomerate impair the smelting process in the blast furnace; during their transportation, dust fractions are formed. The designs of crushers have been developed, in which the crushing process is carried out by destruction to a large extent under the influence of bending loads (with lower energy consumption), with further pushing of sinter pieces through the gaps in the grate. The crushing of the agglomerate cake in these crushers takes place along weakened areas (the presence of cracks, pores, stress concentrators). This improves the strength of the crushed agglomerate. In terms of physical modeling on an experimental model, the effectiveness of the proposed developments has been tested. When crushing foam concrete on a physical model, it was found that the energy consumption when installing grates in one horizontal plane compared to installing grates at different heights will be 9-12 % more. By applying the similarity theory, the results can be transferred to an industrial crusher. In the process of production tests, it was found that when breaking by the application of bending loads, compared with the destruction of the agglomerate by shear, the strength of the crushed agglomerate obtained is 3,2 % higher. At the same time, the power consumption of the drive during the operation of the proposed crushers is 4,8 % less. A crusher has also been developed, in which additional destructive elements in the form of pointed wedges are placed along the axes of symmetry of the gap between the grates, during its operation a more uniform fractional composition of the crushed agglomerate is formed. Improvement of single-roll gear crushers is effective due to the very large volumes of sinter at metallurgical plants in Ukraine.*

**Key words:** sinter, crushing, single roll gear crusher, bending, shearing.

**Алтухов В. М.** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри Машинобудування та прикладна механіка Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля.

**Боровік П. В.** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри Машинобудування та прикладна механіка Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, директор Центру організаційно-методичного забезпечення освітньої діяльності.