

УДК 669.15-168

<https://doi.org/10.34185/tpm.3.2021.10>

*Пройдак Ю.С., Ольшанський В.І., Гогенко О.О., Камкіна Л.В., Філіппов І.Ю.,  
Мяновська Я.В., Сідорський О.В.*

## Дослідно промислові випробування спікання агломерату з дрібнодисперсним марганцевим концентратом

*Proidak Yu., Olshansky V., Hogenko O., Kamkina L.,  
Filippov I., Myanovska Ya., Sidorsky O.*

## Experimental industrial tests of sintering sinter with finely dispersed manganese concentrate

*Об'єкт дослідження – металургійна технологія залучення дрібнодисперсних марганцевих концентратів, що утворюються при видобутку та збагаченні вихідної сировини, у виробництво марганцевого агломерату.*

*Мета роботи – на основі результатів аналізу фізико-хімічних процесів при спіканні марганцевого агломерату та експериментальних досліджень розробити інноваційні технологічні рішення та рекомендації по технології спікання агломерату з підвищеною до 60% часткою в шихті*

*Методи дослідження – теоретичні дослідження процесів агломерації концентратів базуються на основних положеннях фізичної хімії і теорії металургійних процесів. Розрахунки термодинамічної рівноваги оксидних систем, адекватних агломераційним, основані на теорії Гіббса та реалізовані за допомогою комп'ютерної програми «FASTSage 6.0»; для визначення внутрішньої будови марганцевої руди та марганцевих концентратів залучені рентгенівські методи дослідження - рентгенівський дифрактометр ДРОН-2; використаний метод математичної статистики для обробки результатів.*

*Встановлено мінералогічну мікроструктуру рудних марганцевих концентратів і дрібнодисперсного концентрату збагачення марганцевої руди.*

*Визначено раціональну схему попередньої підготовки дрібнодисперсних відходів збагачення марганцевої руди для використання в металургійних процесах; встановлено раціональну кількість відходів збагачення марганцевої руди у вихідній шихті; доведена можливість повернення 50...70% (проти звичайного 10...15%) дрібнодисперсного (фракції 0-1 мм) марганцевого концентрату 2 сорту в шихту виробництва марганцевого агломерату за рахунок використання реагенту торф гідроксидний (РТГ) у кількості 5...7% з одночасним підвищенням міцності гранул агломерату вдвічі.*

*Ключові слова: МАРГАНЦЕВА РУДА, ДРІБНОДИСПЕРСНИЙ МАРГАНЦЕВИЙ КОНЦЕНТРАТ, АГЛОМЕРАЦІЯ, ОПЛАВЛЕНИЙ АГЛОМЕРАТ, МІКРОСТРУКТУРА, МІЦНІСТЬ АГЛОМЕРАТУ, ПОПЕРЕДНЯ ОБРОБКА АГЛОМЕРАТУ, ВИПЛАВКА СИЛКОМАРГАНЦЮ*

*The object of research is the metallurgical technology of involving fine manganese concentrates formed during the extraction and enrichment of raw materials in the production of manganese agglomerate.*

*The purpose of the work - based on the results of analysis of physicochemical processes in the sintering of manganese agglomerate and experimental research to develop innovative technological solutions and recommendations for sintering sintering technology with increased to 60% share in the charge*

*Research methods - theoretical studies of concentrate agglomeration processes are based on the basic principles of physical chemistry and the theory of metallurgical processes. Calculations of thermodynamic equilibrium of oxide systems, adequate to agglomeration, are based on Gibbs theory and implemented using the computer program "FASTSage 6.0"; to determine the internal structure of manganese ore and manganese concentrates involved X-ray research methods - X-ray diffractometer DRON-2; used the method of mathematical statistics to process the results.*

*The mineralogical microstructure of ore manganese concentrates and fine concentrate of manganese ore beneficiation has been established.*

*The rational scheme of preliminary preparation of fine wastes of manganese ore beneficiation for use in metallurgical processes is determined; the rational amount of manganese ore beneficiation waste in the initial charge is established; the possibility of returning 50... 70% (against the usual 10... 15%) of fine (fraction 0-1 mm) manganese concentrate of the 2nd grade in the charge of manganese agglomerate production due to the use of reagent peat hydroxide (RTG) in the amount of 5... 7% with simultaneous increase in the strength of the agglomerate granules twice.*

*Key words: MANGANESE ORE, FINE DISPERSE MANGANESE CONCENTRATE, AGGLOMERATION, MELTED AGGLOMERATE, MICROSTRUCTURE, STRENGTH OF AGLOMERATE*

Постановка задачі. З теорії та практики агломераційних процесів відомий комплекс важких задач, які пов'язані з отриманням з дрібнофракційних концентратів, наприклад, залізо- або марганцеворудних агломератів необхідної металургійної якості при задовільних техніко-економічних та екологічних показниках виробництва [1-10].

Відомі математичні моделі оптимізації продуктивності агломераційних машин, що базуються на обліку взаємопов'язаних факторів: швидкості руху візків агломашинами, вертикальної швидкості спікання шихти, швидкості фільтрації повітря у шарі агломераційної шихти [11 - 16]. Запропоновано наступний базовий комплекс параметрів аглошихти з

Пройдак Юій Сергійович – д.т.н., проф. НМетАУ  
Ольшанський В.І., Нікопольський Завод Феросплавів  
Гогенко О.О., ЧП«Торфдом».  
Камкіна Людмила Володимирівна – д.т.н., проф. НМетАУ  
Філіппов Ігор Юрійович – к.т.н., Нікопольський Завод Феросплавів  
Мяновська Яна Валеріївна – д.т.н., проф.НМетАУ  
Сідорський Олександр Володимирович – ЧП«Торфдом».

Proidak Yurii – d.t.s. NMetAU  
Olshansky V.I., Nikopol Ferroalloys Plant  
Hogenko O.O., private enterprise Torfdom  
Kamkina Lydmila – d.t.s. NmetAU  
Filippov Ihor – c.t.s. Nikopol Ferroalloys Plant  
Myanovska Yana – d.t.s. NmetAU  
Sidorsky Oleksandr - private enterprise Torfdom

урахуванням кількох факторів: загальний газодинамічний опір шару; висота шару; насипна щільність; грансостав аглошихти (фракційність матеріалу, що спікається) виражена через еквівалентний діаметр окомкованої шихти) [15]. Поряд із цим ведуться роботи з підвищення якості агломерату на основі технології підготовки твердого палива. Важливими параметрами є також температура аглошихти; вологість аглошихти; частка повернення/вихід придатного; вміст вуглецю в агломераті; вміст тонкозернистого концентрату в аглошихті.

На цей час ставиться важливе завдання щодо розробки та промислового освоєння виробництва марганцевого агломерату із залученням можливо більшої кількості до складу аглошихти, поряд з базовими концентратами, дрібнозернистого концентрату УМС-1 «-1 мм», продуктів збагачення марганцевої руди при помірній витраті реагенту торфгідроксидного, як компонента, що сприяє окомкуванню аглосуміші. Крім того, з урахуванням транспортування агломерату та його подачею в піч, виникає стан пиловиносу та забруднення біля пічного простору.

Для ефективного використання агломерату у феросплавній печі, агломерат повинен мати певний комплекс властивостей, а саме:

- високу механічну міцність, яка здатна забезпечити заданий стабільний гранулометричний склад при транспортуванні, перевантаженні та загрузці в піч;

- стабільний хімічний склад при високому вмісті марганцю та мінімальній кількості шкідливих домішок;

- високими показниками відновлювальності.

У процесі формування внутрішньої структури агломерату вирішальну роль виконує вуглець твердого палива як внутрішнє джерело тепла [11]. Зовнішнє тепло, що надходить із продуктами згоряння газу, необхідно в початковий період нагрівання для забезпечення активізації внутрішнього джерела. У цьому випадку зовнішнє джерело тепла служить не тільки для активізації внутрішнього нагріву, але й для створення певного рівня температур та складу газової фази. У процесі безперервного нагріву рудно-паливних матеріалів у складному за складом окисному газовому середовищі для створення найкращих умов утворення блокової струк-

тури одержуваного спеку необхідно забезпечувати максимальне використання внутрішнього джерела тепла - вуглецю твердого палива за рахунок оптимізації його гранулометричного складу та рівномірного розподілу у вихідних системах.

Отримані залежності зміни характеристик процесу нагрівання рудно-паливних зразків у газовій фазі складного складу дозволили уточнити механізм окиснення розподіленого у вихідних матеріалах добавок твердого палива та відновлення при цьому оксидів заліза. Для найбільш повного використання твердого палива як внутрішнього джерела тепла при формуванні блокової структури залізородного агломерату найбільш доцільно забезпечувати в шарі газової фази, що не містить діоксид вуглецю з концентрацією кисню в ній 8.10%, а в шихту вводити не більше 7,5. 8,0% твердого палива.

Рентгеноструктурний аналіз структури марганцевих концентратів.

Для дослідження структури марганцевих концентратів застосовано рентгенівський структурний аналіз. Мінеральний склад марганцевих концентратів досліджували рентгеноструктурним методом на дифрактометрі ДРОН-2 в монохроматичному Си-випромінюванні. Міжплощинні відстані при відповідних їм значеннях інтенсивності відображення рентгенівських променів від досліджуваних зразків концентратів визначали методом порівняння отриманих даних з відповідними табличними даними, наведеними в довідниках по рентгеноструктурному аналізу речовин. Вихідними об'єктами для дослідження були три зразка марганцевих оксидних концентратів, по одному зразку карбонатного концентрату 1 сорту і дрібнодисперсного концентрату 2 сорту.

Марганцеві концентрати отримані за схемою гравітаційно-магнітного збагачення сирової марганцевої оксидної та карбонатної руди. Марганцеві оксидні концентрати відрізняються вмістом марганцю і кремнію. Карбонатний концентрат має високий вміст карбонатів  $\text{CaCO}_3$ ,  $(\text{Mn,Ca})\text{CO}_3$ , що є характерним для карбонатних марганцевих руд та високі втрати при прожарюванні (в.п.п). Результати визначення структурних складових оксидного концентрату 1 сорту представлено на рис. 1.

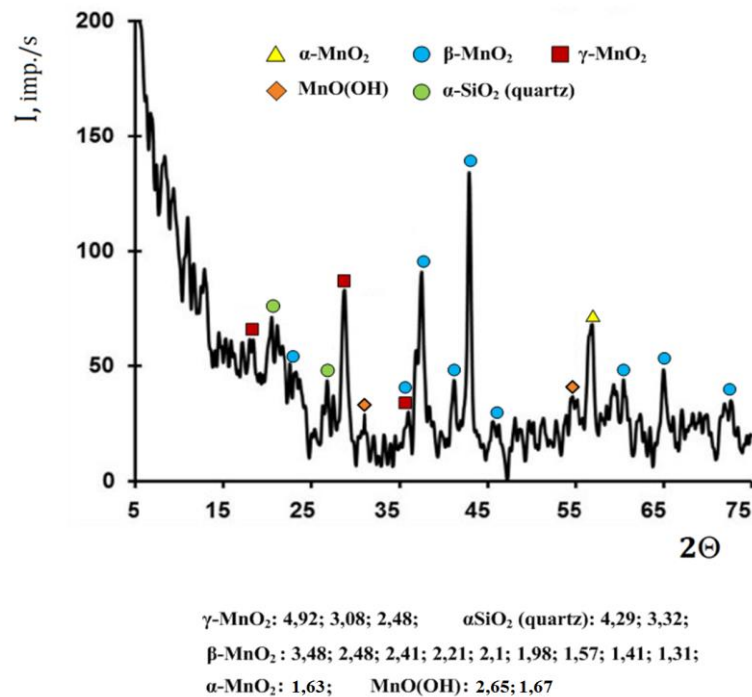
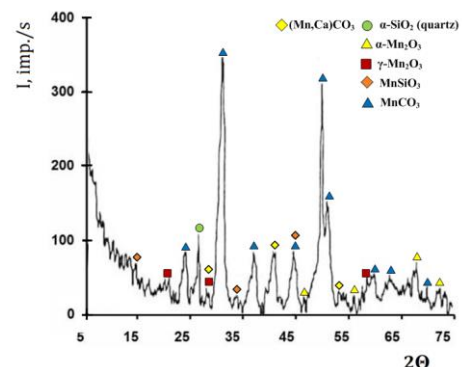


Рисунок 1. Рентгенівська дифрактограма марганцевого оксидного концентрату 1 сорту

Основними мінералами марганцю у концентраті зразка оксидного концентрату 1 сорту є:  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -MnO<sub>2</sub>. Найбільш представницьким є мінерал  $\beta$ -MnO<sub>2</sub>, який відповідає мінералу піролюзиту. Оскільки дослідження проводили для полімінерального агрегату, то кожний мінеральний вид із складу проби представлений на рентгенограмі декількома характерними для нього відображеннями.

Марганцеві мінеральні фази концентрату окисно-зернистого фракції 0-1мм характеризуються суттєво меншою інтенсивністю рентгенівського випромінювання для марганцевих мінералів  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -MnO<sub>2</sub>. Ідентифіковано наявність випромінювання MnO(OH) та метасиліката MnSiO<sub>3</sub> і мінерала породи коалініту Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·2SiO<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O, що є характерним для оксидної руди. Виділяється пік для  $\alpha$ -кварцу, а манганіту і піролюзиту значно менше.



$\alpha$ -Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 1,98; 1,61; 1,41; 1,31;     $\gamma$ -Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 4,92; 3,08; 1,57;    MnSiO<sub>3</sub>: 6,51; 2,63; 2,01;  
 (Mn,Ca)CO<sub>3</sub>: 3,08; 2,28; 1,62;    MnCO<sub>3</sub>: 3,69; 2,86; 2,41; 2,01; 1,81; 1,77; 1,54; 1,47; 1,38;  
 $\alpha$ SiO<sub>2</sub> (quartz): 3,3

Рисунок 3. Рентгенівська дифрактограма карбонатного марганцевого концентрату 1 сорту

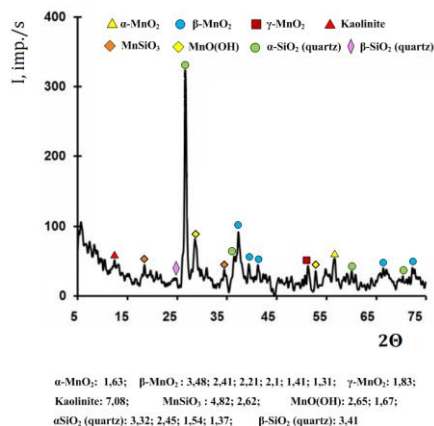


Рисунок 2. Рентгенівська дифрактограма окисно-зернистого марганцевого концентрату 2 сорту фракції 0-1 мм

Мінеральний склад даного концентрату має найбільш високу інтенсивність рентгенівського випромінювання для мінералу родохрозиту MnCO<sub>3</sub>. Досить близькі інтенсивності випромінювання родоніту MnSiO<sub>3</sub>, карбонату кальцит-родохрозіту (Mn,Ca)CO<sub>3</sub>, та значно меншій інтенсивності для поліморфних модифікацій оксидних мінералів марганцю  $\alpha$ -Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (курнакіт) і  $\beta$ -Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (біксбііт), а також  $\alpha$ -SiO<sub>2</sub>.

Одержані дані рентгеноструктурного аналізу мінерального складу і кристалічної структури марганцевих оксидних концентратів, що виробляються на АТ ПГЗК за гравітаційно-магнітною схемою, окисно-зернистого концентрату фракції 0-1 мм та карбонатного концентрату, мають схожі різновидності марганцевих мінералів і порожньої породи. У складі карбонатного концентрату висока наявність

родохрозиту  $MnCO_3$  та манганіту типу  $(Mn,Ca)CO_3$ . Для окисно-зернистого концентрату фракції 0-1 мм встановлено суттєво меншу інтенсивність рентгєнівського випромінювання для марганцевих мінералів  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -  $MnO_2$ . Ідентифіковано наявність випромінювання  $MnO(OH)$  та метасиліката  $MnSiO_3$  і мінерала породи коалініту  $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ .

Експериментальне визначення теплових ефектів реакцій і фазових переходів при нагріванні марганцевих концентратів

Для оцінки величин ендотермічних і екзотермічних ефектів в залежності від температури при тепловій обробці марганцевих концентратів застосовано диференціальний термічний аналіз (ДТА). Дослідження проводили на дериватографі DERIVATOGRAPH-Q-1500 D системи F.Paulik, J.Paulik, L.Erdey впри нагріванні зразків концентратів в інтервалі температур 20-1000°C. В якості еталона використано порошок глинозему кристалічної структури  $\alpha-Al_2O_3$  ( $\alpha$ -корунд), який попередньо прожарили до 1500°C. В якості еталону при визначенні теплових ефектів реакцій і фазових переходів при нагріванні марганцевих концентратів використовували теплоту термічної дисоціації  $CaCO_3$   $\Delta H_{обр.}^0 = -1206,6$  кДж/моль.

Реакція термічної дисоціації  $CaCO_3$  має вигляд:  
 $CaCO_3 = CaO_{тв} + CO_{2газ}$ , (1)

$$\Delta G_{298}^0 = 168245 - 143,79T, \text{ кДж/моль.}$$

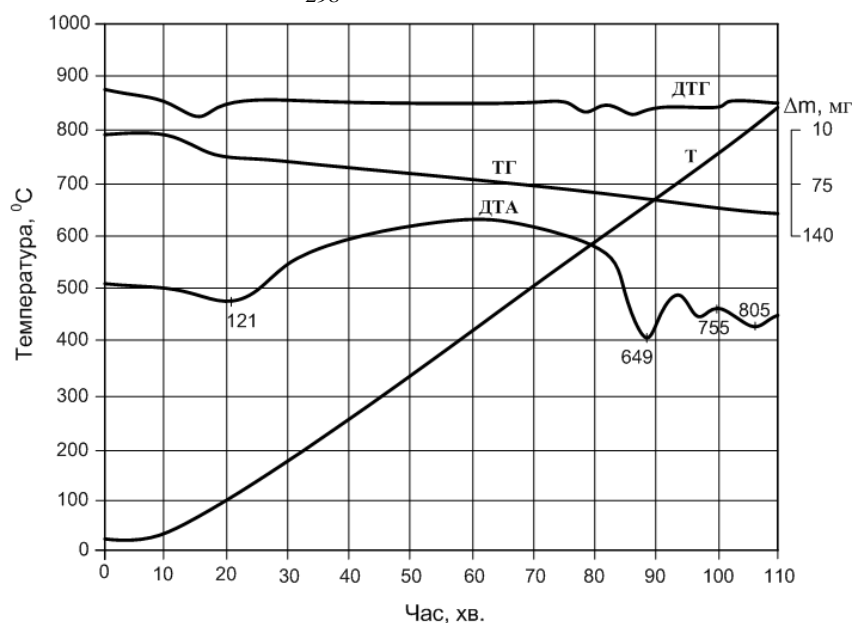
Температура при якій досягається рівновага реакції дисоціації карбонату кальцію ( $\Delta G_{298}^0 = 0$ )

при  $P_{CO_2} = 101$  кПа дорівнює 1170 К (897,0°C).

Ентальпія реакції термічної дисоціації  $\Delta H_0 = 168,245$  кДж/моль  $CaCO_3$ .

Об'єктом дослідження були представницькі зразки марганцевих оксидних концентратів, які використовуються у складі аглошихти при спіканні марганцевого агломерату. Наважки марганцевих концентратів  $M_{поч.} = 1000$  мг. Швидкість нагріву зразків марганцевих концентратів становила 10°C/хв. В даному випадку метод ДТА застосовано для виявлення особливостей термічних ефектів при нагріванні зразків концентрату 2 сорту фракції 0-1 мм, отриманих при збагаченні оксидної марганцевої руди. Виявлені при цьому особливості термічних ефектів, при зіставленні з термічними ефектами марганцевих мінералів дають інформацію про можливі істотні зміни природи марганцевих мінералів в залежності від фракційного складу або знаходженні в якості матеріалів техногенного походження.

Марганцеві концентрати використовуються в якості компонента агломераційної суміші при спіканні агломерату. При нагріванні з концентратами відбуваються процеси втрати вологи, дисоціація, фазові перетворення, що супроводжується відповідними тепловими ефектами. На рис. 2.6 представлена дериватограма, в якості об'єкта дериватографічного дослідження використано зразок оксидного марганцевого концентрату 1 сорту наступного складу (% мас.): 45,3 Mn; 13,1 SiO<sub>2</sub>; 2,2 CaO; 1,4 MgO; 2,0 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 3,1 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 0,23 P; 12,2 в.п.п.



T - крива температури; TG - крива зміни маси зразки; ДТА – крива диференційного термічного аналізу; ДТГ - крива швидкості зміни маси

Рисунок 4 Дериватограма зразка оксидного марганцевого концентрату 1 сорту:  $M_{поч.} = 1000$  мг,  $M_{кін.} = 770$  мг,  $V = 10^\circ C/хв.$

На кривій ДТА зразку концентрату спостерігається ряд інтенсивних ендотермічних ефектів, піки яких відповідають температурам: 121°C (657 Дж); 649°C (1602 Дж); і більш слабкі ефекти при 755°C;

805°C. При 224°C спостерігається незначний екзотермічний ефект. Основна втрата ваги зразка (крива TG) відповідає піку при 649°C. Слід відмітити також існування ефектів, які перекриваються

при температурах 700-820°C. В оксидних рудах відсутні моно мінеральні рудні агрегати. Результати рентгеноструктурного дослідження мінерального складу і параметрів кристалічних решіток марганцевих оксидного, карбонатного концентратів [25] показали багатоскладність марганцевого концентрату 1-го сорту. Окрім  $\alpha$ -вернадиту є також мінерал  $MnO_2$ -t, який за довідковими літературними джерелами автори приймають як одну із п'яти модифікацій піролюзиту. Мінерал  $Mn_6O_{12}(H_2O)_3$  – тодорокіт, який може бути представлений формулою  $(Mn^{2+}, Ca, Mg, Na, K)Mn_3^{4+}O_7 \cdot 2H_2O$ , присутні також  $SiO_2$ -кварц та  $(Ca, Mn)CO_3$ . Карбонатний концентрат представлений практично сполукою  $(Ca, Mn)CO_3$  з частковою заміною атомів кальцію атомами марганцю. На основі одержаної інформа-

ції [26, 27], такий хід кривої ТГ пояснюється послідовними перетвореннями: значний ендотермічний ефект при 649°C пов'язаний з можливою дисоціацією  $MnCO_3$  з утворенням  $MnO$  (550-650°C), наявністю ефектів, що перекриваються, від реакції окислення  $MnO$  до курнакіта  $Mn_2O_3$  при температурах 730-800°C та дисоціацією  $CaCO_3$  (815-920°C), які супроводжуються змінням маси зразку.

На дериватограмі дрібнодисперсного концентрату 2 сорту масою 1000 мг, при нагріванні зі швидкістю 10°C/хв. (рис. 2.5), виявлені два види перетворень при подібних за температурі і величиною термічних ендоефектів: для першого зразка: 121°C,  $Q = -657$  Дж, 649°C,  $Q = -1602$  Дж; для другого зразка: 125°C,  $Q = -939$  Дж, 647°C,  $Q = -933$  Дж.

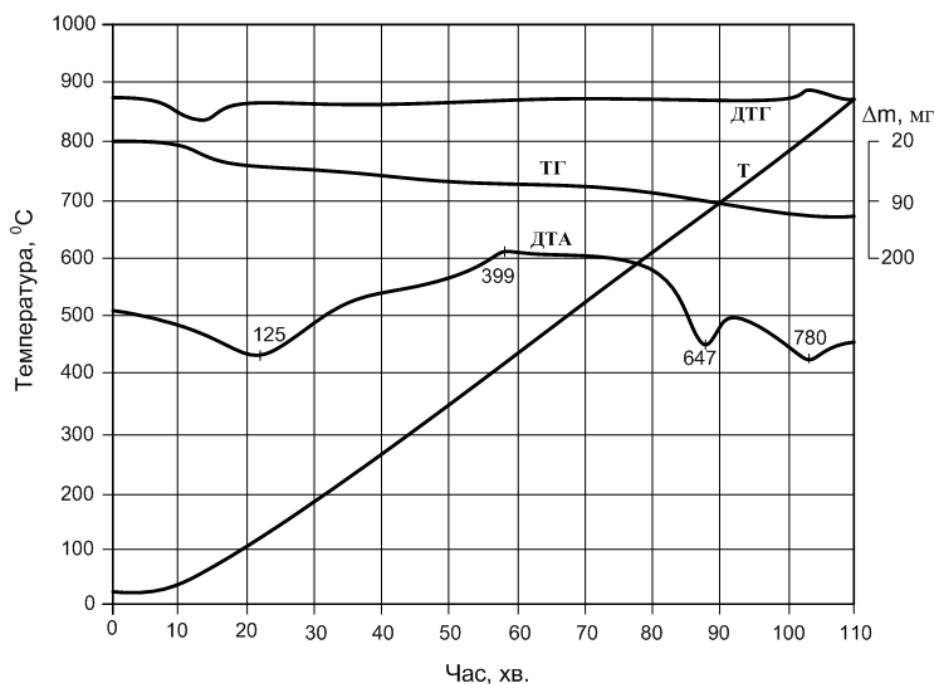


Рисунок 5 Дериватограма зразка окисно-зернистого концентрату 2 сорту фракції 0-1 мм:  $M_{поч} = 1000$  мг,  $M_{кін} = 820$  мг,  $V = 10^\circ C/хв.$

Дослідження термічних перетворень мінералів у складі концентратів вироблених за гравітаційно-магнітною схемою збагачення сирової руди 1 і 2 сорту характеризується однотипними термічними ефектами при близьких значеннях температур. Слід відмітити, що для дрібнодисперсного оксидного концентрату 2 сорту встановлено достатньо високий вміст кварцу і низький вміст оксидів марганцю. Слід очікувати при високотемпературній обробці такого матеріалу низьких температур плавлення оксидної системи, низьку активність марганцю. В системі  $MnO-SiO_2$  утворюється два з'єднання тефроїт ( $Mn_2SiO_4$ ) і родоніт ( $MnSiO_3$ ). Тефроїт стійкий до температури плавлення 1345°C, родоніт розкладається по перитектичній реакції при 1291°C. Тому, при використанні дрібнозернистого концентрату 0-1мм активно розвиваються процеси раннього шлакоутворення з переходом оксидів марганцю в хімічну сполуку з кремнезе-

мом. Це призведе до зниження активності марганцю і утруднення відновлення марганцю з силікатів в порівнянні з відновленням з чистих оксидів. Крім того, раннє утворення розплаву в верхніх горизонтах печі призводить до зниження активної потужності печі, температури в голівці коксового шару, порушення газового режиму роботи. При цьому використання звичайного концентрату 2 сорту, що має вміст  $SiO_2$  до 19% зміщує початок шлакоутворення в область більш високих температур (на 50...100°C), і відповідно, створюються набагато більш сприятливі умови для спільного відновлення марганцю і кремнію.

Промислові випробування одержання агломерату при змінній кількості вуглецю у вихідній шихті

При застосуванні РТГ внаслідок згоряння пірогазів, змінюється тепловий рівень процесу агломерації та формуються дві зони спікання, які змінюються при змінній співвідношення вуглець

РТГ/вуглець коксу. Для отримання агломерату з високими властивостями міцності, з точки зору теплового рівня процесу спікання, визначали оптимальний вміст вуглецю і режим запалення шихти (температура запалення, час запалення). При спіканні агломерату АМНВ-2 вміст палива в шихті варіювали від 6% до 8%, а температуру запалення від 950°C до 1000°C.

В якості вихідних технологічних параметрів використовували параметри роботи базового періоду виробництва агломерату марки АМНВ-2 на агломашині №4.

Дослідно-промислові випробування показали, що підвищення вмісту палива в аглошихті з 6% до 8% при збільшенні вмісту концентрату 2 сорти (фр. 0-1мм) з 22% до 30% та повному виведенні доломітизованого вапняку (2%) за рахунок збільшення вмісту карбонатної руди та руди 2 сорти ПГЗК, призводить до зниження продуктивності процесу агломерації (рис. 6) при незмінній міцності агломерату та збільшенні вмісту фракції менше 5мм в агломераті

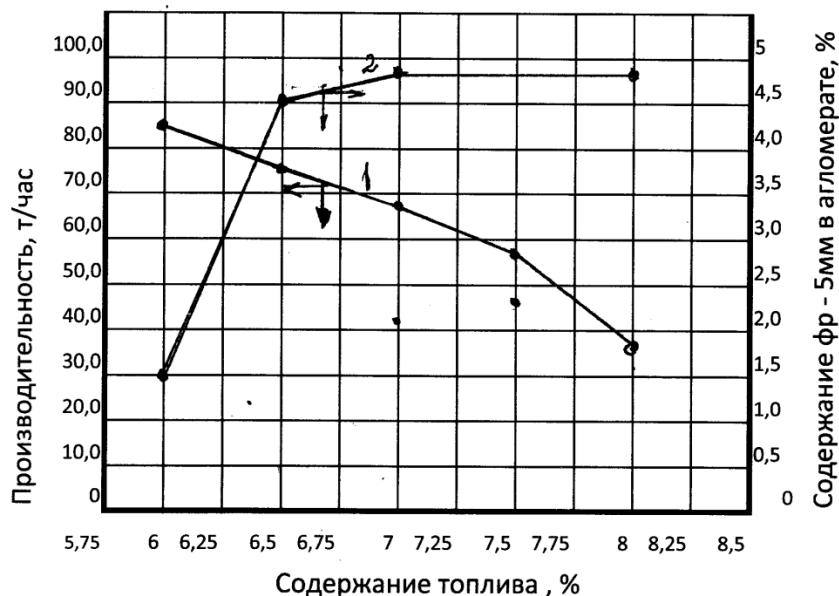


Рисунок 6 Змінення продуктивності агломашини (1) і вмісту дрібниці в агломераті (2) від витрати палива

При окомкуванні шихт для виробництва агломерату марки АМНВ-2 з високим вмістом великих фракцій практичної зміни середнього діаметра гранул не спостерігається. Газопроникність шихти визначається головним чином гранулометричним складом шихти. Присутність у складі шихти РТГ, який рівномірно розподіляється серед складових вихідної агломераційної суміші сприяє утворенню гранул, що містять дрібнодисперсні компоненти. Тому присутність підвищеної кількості концентрату 2 сорти (фр. 0-1мм) не впливало на утворення гранул та покращувало газопроникність шихти, а також забезпечує покращення умов запалення шихти.

Однак, при завантаженні розпушеної шихти на агломашину в результаті сегрегації великі шматки руди розташовуються в нижній частині шару і практично не беруть участь у процесі спікання. Дрібні частинки, у тому числі і паливо, розташовуються у верхній частині шару між великими шматками. При спіканні шихти і горінні твердого палива, рідка фаза, що утворюється, пов'язує великі шматки незасвоєних матеріалів.

Як відомо, дисоціація карбонатного концентрату та доломітизованого вапняку потребує витрати

теплоти, а повнота дисоціації визначається крупністю матеріалу. Завантаження на аглоленту великих фракцій карбонатної руди та вапняку приводить до неповної їх дисоціації: у центрі шматка залишається вихідний карбонат. В процесі спікання за рахунок утворення рідкого розплаву здійснюється звязування великих грудок, що визначає міцність спеку. Великі шматки карбонату, що пройшли стадію дисоціації і не повністю засвоєні розплавом, є джерелом руйнування конгломерату в результаті їх гідратації.

В якості флюсоуючої добавки використовували доломітизований вапняк. Температурні інтервали протікання першої стадії дисоціації доломіту в умовах агломераційного процесу складають  $T_{поч.} = 910K$ ,  $T_{зак} = 993K$ . Змінення ентальпії при здійсненні першої стадії дисоціації доломіта в області 298-993K складає 2308кДж/кг  $CO_2$

Друга стадія дисоціації доломіту відбувається при температурах дисоціації вільного карбонату кальцію. Як відомо, повнота дисоціації карбонату кальцію. В значній степені залежить від крупності карбонату, що пов'язано з механізмом розкладання та знаходженням процесу у відповідній області лімітування.

Аглопроцес може бути високопродуктивним і давати якісний агломерат тільки за умови відповідної підготовки компонентів шихти до спікання. Насамперед це стосується їх гранулометричного складу. Якщо за мінімальним розміром частинок шихти обмежень немає (за винятком твердого палива), то за умовою теплообміну існує граничний максимальний розмір для рудного матеріалу та повернення - це 6...8мм, а для флюсу вапняку -

3мм; частинки більшого розміру за 2,0...2,5 хв впливу високих температур не встигають прогрітись та засвоїтись розплавом і залишаються у вигляді окремих включень у шматках агломерату, знижуючи їхню міцність.

Аналіз гранулометричного складу аглошихт показав, що вміст у рудному матеріалі при виробництві агломерату АМНВ-2 фракції понад 10мм становить 49,99...53,95% (табл.1).

Таблиця 1 Гранулометричний склад вихідних шихт

Матеріал	Вміст фракцій, %				
	+ 50мм	50...25мм	25...10мм	10...3мм	-3мм
Базова шихта	3,98	36,87	13,10	8,46	37,59
Дослідна шихта	3,48	32,05	14,46	7,10	42,91
Величина змінення	-0,50	-4,82	+1,24	-1,36	+5,32

Визначальну роль отриманні міцного агломерату є насамперед гранулометричний склад карбонатної марганцевої руди. Проблема дисоціації карбонатів при агломерації ускладнюється тим, що процес має встигнути завершитися лише за 1,5...2,5 хвилини, протягом яких існують сприятливі термодинамічні та кінетичні умови: в інтервалі температур 800 – t max – 600 °С. Практика показує, що вапняк при агломерації встигає повністю розк-

ластись, якщо крупність шматочків не перевищує 3 мм.

Великі шматки карбонату, що розташовуються внизу шару, що спікається, практично не дисоціюють, у сирому вигляді переходять в агломерат і потрапляють у феросплавну піч. Дисоціація карбонатів у печі призводить не тільки до додаткових витрат тепла, а й є причиною пилоутворення, що підтверджується хімічним складом пилу, що виділяється з печі (табл.2)

Таблиця 2 Хімічний склад пиловиносу в навколопічному просторі

Матеріал	Хімічний склад, % мас.												
	SiO <sub>2</sub>	Mn	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P	C	ППП	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	ZnO	PbO
Проби ПТО:													
Шлам газоочисток													
Н/газоход П-14, В 2	21,3	18,7	4,6	2,7	1,7	1,3	0,05	7,7	19,9	8,8	2,5	[7,5]	[1,4]
отм+5,5 П-8, В2М	5,6	24,7	8,6	5,1	0,6	0,5	0,11	10,1	36,2	1,6	1,2	[5,3]	[2,2]
отм+5,5 П-7, В2М	24,4	14,8	5,0	3,8	2,3	1,5	0,05	10,9	20,1	7,0	2,1	[8,1]	[1,4]
шлам бак П-4, В2	8,6	25,5	7,3	3,3	0,6	1,9	0,07	8,9	30,2	1,7	0,8	[8,0]	[2,8]
Н/газоход П-4, В2	18,6	17,7	3,5	2,7	1,4	1,0	0,04	7,9	21,7	12,5	3,4	[6,5]	[0,7]

Візуальний огляд дослідного агломерату показав наявність в готовому агломераті великих шматків слабопродисоційованої карбонатної руди, які не повністю змочені розплавом і є джерелом руйнування агломерату на ділянці його транспортування до завантаження в піч. Перелічені фактори є основними причинами підвищеного пиловиділення на ділянках транспортування та на завантаженні сировини в піч.

Результати розсіву агломерату базового варіанту показали, що вміст фракції менше 5мм після обробки спеку становить в середньому 2,5%, а при завантаженні в піч 8,9%, тобто на ділянці транспортування кількість дрібниці збільшується у 3,56 рази.

Таким чином, збільшення вмісту палива з 6% до 8% не призводить до підвищення продуктивності процесу спікання та покращення якості агломерату при існуючому гранулометричному складі аглошихти (наявність у шихті шматків розміром більше 8мм. Кількості тепла, що виділяється при горінні з одного боку, недостатньо для дисоціації та розплавлення рудних матеріалів, з іншого, збільшення часу горіння частинок палива призводить до необхідності зниження швидкості руху агломашини, що в свою чергу знижує продуктивність процесу.

Однією з причин зниження міцності агломерату є втрата міцності агломерату в результаті гідратації великих шматків незасвоєного вапна (3...10мм), що утворюється в результаті дисоціації карбонат-

ної марганцевої руди в процесі спікання агломерату.

Для визначення впливу використання фракціонованої карбонатної руди фракції 0...10мм при виробництві агломерату, в агломераційному цеху в поточному виробництві спікали агломерати марки АМНВ-2 та АМНВ-2Г при частці використання марганцевого концентрату 2 сорти фр. 0-1мм у шихті 30, 50, 80%.

За базову шихту для виробництва агломерату прийнято шихту поточного виробництва агломерату марки АМНВ-2 без використання дрібного вапняку в якості флюсуючої добавки. При заміні карбонатної марганцевої руди фракції 0...30 мм на фракцію 0...10мм привело до змінення гранулометричного складу шихт (таблиця 3).

Таблиця 3

Гранулометричний склад шихт при змінненні кількості дрібнодисперсного концентрату 2 сорту

Матеріал	Вміст фракцій, %				
	+50мм	50...25мм	25...10мм	10...3мм	-3мм
Базова шихта	1,63	32,26	14,16	10,98	40,67
Дослідна шихта (30%)	1,63	15,64	7,52	22,42	52,79
Дослідна шихта (50%)	1,42	12,34	5,37	21,25	59,62
Дослідна шихта (80%)	-	-	-	2,09	97,91

Результати спікань агломерату показують, що заміна карбонатної марганцевої руди фракції 50-0мм на руду фракції 10-0мм дозволяє отримати оплавлений агломерат при чинному режимі термообробки. Ступінь дисоціації карбонатної марганцевої руди становить 100% (при проведенні хімічного аналізу втрати при прожарюванні склали 0%). Це сприяє повнішому засвоєнню розплавом карбонатної марганцевої руди. При зміні рівня термообробки забезпечується повніше запалення твердого палива, що забезпечує поліпшення процесів рідкофазного спікання. Аналіз міцнісних властивостей отриманого агломерату показав зниження утворення дрібниці фракції менше 5мм при транспортуванні його до печі, а також підвищення міцності на стирання. Так збільшення вмісту дрібниці фракції менше 5мм в агломераті перед завантаженням у піч знизилася порівняно з базовим варіантом з 13% до 7%.

Виходячі з результатів дослідних спікань одержання агломерату зниженої міцності на стирання (основна причина збільшення виносу пилу з печі) при існуючому гранулометричному складі шихти можуть бути декілька причин.

При низькому вмісті твердого палива у шихті (6-7%) тепла, що виділяється в результаті горіння цієї кількості палива, недостатньо для утворення необхідної кількості розплаву, що забезпечує розвиток рідкофазного спікання. Збільшення витрати твердого палива при даному гранулометричному складі отримання оплавленого агломерату викликає значні труднощі через необхідність забезпечення часу на розплавлення рудних матеріалів, що призводить до зниження продуктивності процесу. При цьому міцність агломерату визначається міцністю шматків руди, виводом вязучого та міцністю контакту вязучого з рудою.

Незадовільний режим запалення шихти, який має забезпечувати як запалювання палива, так і компенсувати витрати тепла на ендотермічні процеси у верхній частині шару (сушіння, прогрів, дисоціація карбонатів, утворення розплаву). Темпе-

ратура запалення повинна бути не менше 950°C, а час запалення має бути 2...2,5 хв (час перебування шихти під горном). При залученні до процесу карбонатної марганцевої руди фракції 0...10мм необхідне додаткове тепло для здійснення процесу дисоціації карбонатів марганцю і кальцію.

Для карбонатної марганцевої руди розміром більше 5мм не вистачає часу для повної дисоціації, а шматки рудних матеріалів більші за 8мм не повністю проходять через рідку фазу. Нестача рідкої фази, а також відсутність міцного зв'язку між рудними частинками та вязучим знижує міцність агломерату. При транспортуванні агломерату та завантаженні його в піч відбувається руйнування карбонату, що супроводжується додатковим пилоутворенням (підтверджується даними хімічного складу пилу та шламів рудовідновлювальних печей). При існуючій технології спікання марганцевого агломерату на НЗФ газопроникність шихти досягається більшою мірою крупністю рудних матеріалів, а процес окотування практично не впливає на показники процесу агломерації.

Одержання оплавленого агломерату залежить від вихідного гранулометричного складу компонентів шихти спікання. Результати дослідно-промислових випробувань агломерату показують, що заміна карбонатної руди марганцевої фракції 50-0мм на руду фракції 10-0мм дозволяє отримати оплавлений агломерат при діючому режимі термообробки. Ступінь дисоціації карбонатної марганцевої руди становить 100% (при проведенні хімічного аналізу втрати під час прожарювання склали 0%).

Підвищення металургійних властивостей марганцевого агломерату, отриманого з шихт, що містять 30, 50, 80% марганцевого концентрату 2 сорту фракції 0-1мм, можливе за рахунок поєднання оптимального температурно-теплого рівня процесу (забезпечується більш повне запалення твердого палива, що в свою чергу забезпечує процеси рідкофазного спікання) та оптимізації гранулометричного складу шихти - а саме зниження вмісту фракцій більше 8мм у шихті, що забезпечить поліпшен-

ня процесу окотування та зниження вмісту пилу при транспортуванні агломерату. Це можливо за рахунок змін підготовки рудних матеріалів на ГЗК.

Слід відмітити, що існуючі на ГЗК схеми збагачення марганцевої руди не передбачають розсівання матеріалу, що не дає змоги передати споживачу руду необхідного фракційного складу. Зниження руйнування агломерату може бути досягнуто шляхом його обробки, що полягає в покритті шматкової сировини екстрактом гуматовим рідким торф'яним «Ідеал» ТУ У 08.9-35113654-004:2012. Високотемпературне покриття ЕГТ з температурою плавлення 1050-1100°C) в результаті видалення води утворює на поверхні шматка агломерату плівку, що підвищує його міцність на стирання і призводить до зниження пилоутворення при транспортуванні та завантаженні його в піч, перешкоджає руйнуванню карбонатів, шматків вільного вапна та шматків агломерату при нагріванні у відновлювальній атмосфері.

#### Висновки

1. Для отримання оплавленого агломерату зі збільшенням частки в шихті дрібнодисперсного концентрату 2 сорти до 60% необхідно привести у відповідність з вимогами до гранулометричного складу агломерату, а саме зниження вмісту великих фракцій (фракції більше 8мм) у рудних матеріалах. Досягається це шляхом або грохочення або шляхом додроблення руди.

2. Після приведення гранскладу шихти у відповідність до вимог регулюється температурно-тепловий режим запалення шихти та вміст твердого палива. Для спалаху твердого палива шихти досить нагріти його до 750-800°C. Однак за таких температур наступне горіння йде повільно і аглопроцес затягується. Тому запалення прагнуть вести за максимально можливих температур. Максимальні температури обмежені, так як надмірно високі температури призводять до того, що вся ших-

та на поверхні шару буде рівномірно плавитися, а кірка, що утворюється, перешкоджаючи вільному проходу повітря, знижує газопроникність шару. Максимальна температура умов аглоцеху становить 1000...1050°C. Регулювання температури здійснюється зміною витрати газу та повітря. Температура поверхні шихти повинна бути максимально допустимою. Висота зони 2...2,5 мм на нижній межі зони температура шихти 750...800°C.

У разі погіршення газопроникності шару через зміну гранскладу шихти, через зниження вертикальної швидкості спікання необхідно зменшити швидкість руху агломаши. При цьому збільшується час перебування шихти під запальним горном. Щоб не перегріти шар, необхідно пропорційно зниженню швидкості руху агломаши знизити подачу газоповітряної суміші в пальники горна. При заміні карбонатної руди марганцевої фракції 50-0мм на фракцію 10-0мм рекомендована температура верхнього шару в горні повинна бути в межах 950...1000°C.

Витрата твердого палива визначається виходячи з витрат тепла на процеси випаровування вологи повної дисоціації карбонатів, нагрівання та плавлення шихти. У разі (заміна великої карбонатної руди) витрата твердого палива становить 7,0...7,5%. Збільшення вмісту палива здійснюється зі збільшенням вологості шихти, вміст карбонатної марганцевої руди оптимальної крупності.

3. Зниження пилоутворення шляхом нанесення покриття на шматки термообробленої шихти може бути досягнуто лише за умов дотримання рівномірності покриття, а також температурного режиму обробки. Рекомендована температура оброблюваної сировини складає 60...100°C. За цих умов забезпечується міцне зчеплення покриття з агломератом. Поверхнева плівка забезпечує підвищення питомого опору агломерату, зниження його руйнування під час нагрівання.

#### Бібліографічний опис

1. Шапар А.Г. Проблеми сталого розвитку і забезпеченість природними ресурсами. // 36. наукових праць "Екологія і природокористування". - Вип. 3. - Дніпропетровськ, 2001. С.7-23.
2. Шапар А.Г. Формирование и разработка техногенных месторождений железных и марганцевых руд / Шапар А.Г., Вилкул А.Ю., Якубенко Л.В. – Днепропетровск: Монолит, 2012. – 140 с.
3. Кулик І.М. Сучасний стан та основні фактори розвитку чорної металургії України / І.М. Кулик // Бізнесінформ. – 2012. – № 5. – С.116–121.
4. Большаков В.І. Чорна металургія і національна безпека України / В.І. Большаков, Л.Г. Тубольцев // Вісник НАН України. – 2014. – № 9. – С. 48–58.
5. Катаєв О.О. Досвід і перспективи енергозбереження ресурсомістких підприємств гірничо-металургійного комплексу України [Електронний ресурс] / О. О. Катаєв // Економіка України. - 2013. - № 9. - С. 18-30. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/EkUk\\_2013\\_9\\_4](http://nbuv.gov.ua/UJRN/EkUk_2013_9_4)
6. Venger V., Osipov V. Domestic market as a development factor for Ukraine's metal industry. // Ekon. prognozuvannâ 2017; 3:69-84. - Режим доступу: <https://doi.org/10.15407/eip2017.03.069>
7. Власюк Т.О. Металургійна галузь України на світовому ринку: проблеми та пріоритети. // Науковий вісник Національної академії статистики, обліку та аудиту. - 2016. - № 3. - С. 91–103.
8. Кулицький С. Проблеми розвитку українського гірничо-металургійного комплексу на сучасному етапі. // Україна: події, факти, коментарі. - 2015. - № 14. – С. 37-49. - Режим доступу: <http://nbuviar.gov.ua/images/ukraine/2015/ukr14.pdf>
9. Оболенська Т., Довгань Д. Україна на світовому ринку чорних металів. // Вісник Львівського університету. Серія "Міжнародні відносини". - 2015. - Вип. 36. - Част. 3. - С. 169–176.

10. Металлургия марганца Украины / Величко Б.Ф., Гаврилов В.А., Гасик М.И., Грищенко С.Г. и др. // - Київ: Техніка, 1996. - 472 с.
11. Теория и технология электрометаллургии ферросплавов / Гасик М.И., Лякишев Н.П. // СП Интернет Инжиниринг, 1999. - 764 с.
12. Марганец. Гасик М.И. – М.:Металлургия. – 1992. - 608 с.
13. Развитие производства марганцевых ферросплавов в электропечах. /Сафонов Б.М., Мураховский В.В. //Сталь. - 1983. - №5. –С. 5-7.
14. Получение офлюсованного марганцевого агломерата и выплавка высокоуглеродистого ферромарганца /Гасик М.И., Зубанов В.Т., Щербицкий Б.В. и др. // Сталь. - 1982. - №9. – С. 51-53.
15. Утков В.А. Высокоосновной агломерат. - М.: Metallurgy, 1977. -156 с.2 - 6
16. Войтаник С. Т. Технология производства и качество агломерата из концентратов окисной марганцевой руды / С. Т. Войтаник, В. А. Куksenко, Д. А. Киссин // Metallurgical and iron-ore industry. – 1975. – № 3 (93). –С. 22–27.

#### Reference

1. Shapar A.H. Problemy staloho rozvytku i zabezpechenict pryrodnyimi resursamy.//Zb. naukovykh prats "Ekolopia i pryrodokorystuvannia". - Vyp. 3. - Dnipropetrovsk, 2001. S.7-23.
2. Shapar A.H. Formyrovanye y razrobotka tekhnolohyicheskikh mestorozhdeniy zheleznykh y marhantsevykh rud / Shapar A.H., Vylkul A.Iu., Yakubenko L.B. – Dnepropetrovsk: Monolyt, 2012. – 140 s.
3. Kulyk I.M. Suchasnyi stan ta osnovni faktory rozvytku chornoj metalurhii Ukrainy / I.M. Kulyk // Biznesinform. – 2012. – № 5. – S.116–121.
4. Bolshakov V.I. Chorna metalurhiia i natsionalna bezpeka Ukrainy / V.I. Bolshakov, L.H. Tuboltsev // Visnyk NAN Ukrainy. – 2014. – № 9. – S. 48–58.
5. Kataiev O.O. Dosvid i perspektyvy enerhozberzhennia resursomistkykh pidpriemstv hirnycho-metalurhiinoho kompleksu Ukrainy [Elektronnyi resurs] / O. O. Kataiev // Ekonomika Ukrainy. - 2013. - № 9. - S. 18-30. - Rezhym dostupu: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/EkUk\\_2013\\_9\\_4](http://nbuv.gov.ua/UJRN/EkUk_2013_9_4)
6. Venger V., Osipov V. Domestic market as a development factor for Ukraines metal industry. // Ekon. prognozuvannâ 2017; 3:69-84. - Rezhym dostupu: <https://doi.org/10.15407/eip2017.03.069>
7. Vlasiuk T.O. Metalurhiina haluz Ukrainy na svitovomu rynku: problemy ta priorityety. // Naukovyi visnyk Natsionalnoi akademii statystyky, obliku ta audytu. - 2016. - № 3. - S. 91–103.
8. Kulytskyi S. Problemy rozvytku ukrainskoho hirnycho-metalurhiinoho kompleksu na suchasnomu etapi. // Ukraina: podii, fakty, komentari. - 2015. - № 14. – S. 37-49. - Rezhym dostupu: <http://nbuviap.gov.ua/images/ukraine/2015/ukr14.pdf>
9. Obolenska T., Dovhan D. Ukraina na svitovomu rynku chornykh metaliv. // Visnyk Lvivskoho universytetu. Seriya "Mizhnarodni vidnosyny". - 2015. - Vyp. 36. - Chast. 3. - С. 169–176.
10. Metallurhiia marhantsa Ukrainy / Velychko B.F., Havrylov V.A., Hasyk M.Y., Hryshchenko S.H. y dr. // - Kyiv: Tekhnika, 1996. - 472 s.
11. Teoryia y tekhnolohyia elektrometallurhyy ferrosplavov / Hasyk M.Y., Liakyshev N.P. // SP Ynternet Ynzhynering, 1999. - 764 s.
12. Marhanets. Hasyk M.Y. – М.:Metallurhiia. – 1992. - 608 s.
13. Razvytye proyzvodstva marhantsevykh ferrosplavov v elektropetchakh. /Safonov B.M., Murakhovskiy V.V. //Stal. - 1983. - №5. –С. 5-7.
14. Polucheniye offlyusovannoho marhantsevoho ahlomerata y vyplavka vysokouglerodystoho ferromarhantsa /Hasyk M.N., Zubanov V.T., Shcherbytskyi B.V. y dr. // Stal. - 1982. - №9. – S. 51-53.
15. Utkov V.A. Vysokoosnovnoi ahlomerat. - М.: Metallurhiia, 1977. -156 s.2 - 6
16. Voitanyk S. T. Tekhnolohyia proyzvodstva y kachestvo ahlomerata yz kontsentratoiv okysnoi marhantsevoi rudy / S. T. Voitanyk, V. A. Kuksenko, D. A. Kyssyn // Metallurhiyeheskaia y hornorudnaia promyshlennost. – 1975. – № 3 (93). –С. 22–27.