

ції і умови праці наших робітників. Це є яскравим підтвердженням стабільності підприємства і перспектив його подальшого розвитку.

І все ж головним багатством коксохімічного виробництва були й залишаються люди, його працівники, адже навіть із найскладніших життєвих ситуацій колектив КХВ завжди виходив з честю і гідністю завдяки своїм згуртованості та дружності. Це вони, робітники й керівники, своєю важкою повсякденною працею створили йому, одному з найшанованіших у галузі виробництв, добре ім'я.

На коксохімічному виробництві, так само як і на всьому підприємстві, завжди велику увагу приділяли й приділяють вирішенню соціальних питань. Для людей створено всі умови для оздоровлення на турбазах, а також у пансіонатах і санаторіях, надаються путівки для дитячого оздоровлення, ведеться пропаганда здорового способу життя та забезпечено медичне страхуван-

ня працівників, проводяться різноманітні спортивні та розважальні заходи.

Сьогодні коксохімічне виробництво ПАТ «АРСЕЛОРМІТТАЛ КРИВИЙ РІГ» працює, вирішує нагальні питання, зростає, розвивається й з упевненістю дивиться у прийдешній день.

Давня китайська мудрість говорить, що немає нічого гіршого, ніж жити в епоху змін. Але наше підприємство не лякають ніякі зміни, адже вони завжди відкривають нові можливості й горизонти, дають поштовх до пошуку нестандартних рішень, поштовх до розвитку креативного мислення та привід ставати ще сильнішим і ще кращим.

ВЛАДИСЛАВ ГОНЧАРОВ, директор
КХВ ПАТ «АРСЕЛОРМІТТАЛ КРИВИЙ РІГ»

DOI: 10.31081/1681-309X-2021-0-3-8-20

Спеціальність 161. УДК 662.74

ПІДГОТОВКА ВУГІЛЬНОЇ ШИХТИ ДО КОКСУВАННЯ В УМОВАХ КОМПЛЕКСУ КОКСОВИХ БАТАРЕЙ №5, 6 КХВ ПАТ «АРСЕЛОРМІТТАЛ КРИВИЙ РІГ»

© Н.В. Мукіна¹, О.П. Черноусова²

Коксохімічне виробництво ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», 50095, Дніпропетровська обл., м. Кривий Ріг, вул. Криворіжсталі, 1, Україна

Д.В. Мірошніченко³

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», 61002, м. Харків, вул. Кирпичова, 2, Україна

Н.А. Десна⁴, О.В. Ситник⁵, В.В. Коваль⁶

Державне підприємство «Український державний науково-дослідний вуглехімічний інститут (УХІН)», 61023, м. Харків, вул. Весніна, 7, Україна

¹ Мукіна Наталя Володимирівна, нач. технічного відділу, e-mail: Natalia.Mukina@arcelormittal.com

² Черноусова Олена Петрівна, нач. центральної лабораторії, e-mail: Elena.Chernousova@arcelormittal.com

³ Мірошніченко Денис Вікторович, д.т.н., проф., зав. кафедрою технологій переробки нафти, газу та твердого палива, e-mail: dvmir79@gmail.com

⁴ Десна Наталя Анатоліївна, к.т.н., в.о. зав. вугільним відділом (ВВ), e-mail: desnana@ukr.net

⁵ Ситник Олексій Володимирович, к.т.н., ст. досл., ст. наук. співр. коксового відділу, e-mail: aleksejsytnik48@gmail.com

⁶ Коваль Валентин Валерійович, провідн. інженер ВВ, e-mail: kovalen79@gmail.com

У статті висвітлено методичні засади та результати досліджень щодо розробки критеріїв і практичних рекомендацій стосовно оптимізації складів вугільних шихт коксових батарей №5 та 6 коксохімічного виробництва ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» для отримання коксу необхідної якості з трамбованої шихти. Визначальним показником виробництва коксу із застосуванням технології трамбування вугільних шихт є міцність трамбованого пирога. Найвдалішим способом визначення цього показника є оцінка міцності непрямим методом за величиною зусилля зрізу (б_н) трамбованих зразків шихт в лабораторних умовах. Цей метод дозволяє виявити зміну міцності вугільного пирога і вжити необхідних заходів щодо недопущення або мінімізації кількості його обвалів при завантажен-

ні. У статті надано зображення установок для лабораторного трямбування вугільної шихти і визначення міцності отриманого пирога на зріз, наведено методику виконання визначення цього показника.

В результаті викладених досліджень встановлено, що щільність трямбованого пирога з подрібненого індивідуального вугілля, котре входить до сировинної бази коксохімічного виробництва ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», тісно пов'язана зі вмістом у вугільній сировині класів < 3 і $< 0,5$ мм. Збільшення вмісту класів < 3 і $< 0,5$ мм призводить до зростання показника $\sigma_{\text{з}}$. Також показано, що фактичні значення $\sigma_{\text{з}}$ для бінарних вугільних сумішей є вищими за розраховані.

Встановлено, що зі збільшенням рівня помелу вугільних шихт з 90,1 до 92,2 % відбувається зростання величини показника $\sigma_{\text{з}}$ з 12,5 до 15,0 кПа, тобто на 20 %. При збільшенні вологості шихти з 10,0 до 11,5 % міцність трямбованого пирога зростає. Збільшення вмісту води вище 12 % небажано через зниження міцності трямбованого вугільного пирога, а також збільшення витрат тепла на коксування, яке йде на випаровування води.

Ключові слова: вугілля, підготовка, міцність трямбованого пирога на зріз, вологість, гранулометричний склад.

Автор для листування Н.В. Мукіна, e-mail: Natalia.Mukina@arcelormittal.com

Впровадження комплексу коксових батарей №5, 6 дозволило не тільки збільшити обсяги виробництва доменного коксу, а й вирішити ряд екологічних завдань, запровадивши на коксохімічному виробництві останні світові технічні досягнення [1, 2].



Для розробки критеріїв і практичних рекомендацій щодо оптимізації складів вугільних шихт к.б. №5, 6 для отримання коксу необхідної якості було проведено це дослідження.

Міцність трямбованого пирога є основним показником виробництва коксу із застосуванням технології трямбування вугільних шихт [3–6]. На теперішній час єдиного і достовірного методу визначення міцності вугільного пирога немає. На наш погляд, найбільш вдалим способом визначення міцності трямбованого пирога, є оцінка міцності непрямым методом за величиною міцності на зріз ($\sigma_{\text{з}}$) трямбованих зразків шихт в лабораторних умовах. Цей метод дозволяє виявити зміну міцності вугільного пирога і вжити необхідних заходів до стабілізації міцності і недопущення або мінімізації кількості його обвалів при завантаженні.

Метод визначення міцності трамбованого вугілля і шихт складається з виготовлення трамбованого вугільного пирога і визначення його щільності і міцності на зріз. На рис. 1 і 2 наведені зображення установок для трамбування і визначення міцності трамбованого пирога на зріз.

Суть методу полягає в наступному. Наважку шихти (вугілля) масою ~4 кг, вологістю ~11 % дроблять до 90–100 % вмісту класу 0 – 3,15 мм. Далі відібрану від загальної проби вугілля наважку масою 1,1 кг засипають в матрицю 2 трамбувача установки (рис. 1), її поверхню розрівнюють лінійкою і встановлюють на засип пуансон 3. Через хвостовик пуансона протягують кришку 4 і прикручують до матриці гвинтами, пуансоном злегка натискають на вугільну наважку. Потім проводять три удари вантажем 5 на пуансон. Висота підняття вантажу над хвостовиком пуансона збірно-розбірний матриці, в яку завантажують пробу вугілля або шихти, становить 0,45 м. Ця висота відповідає довжині утворюючої підйомного кулачка трамбувальної штанги промислової ТЗРМ (трамбувальної завантажувально-розвантажувальної машини), яка обслуговує коксову батарею.

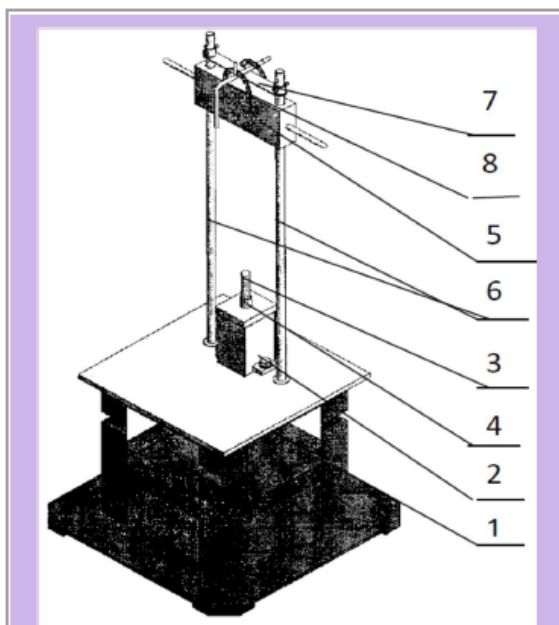


Рис. 1 Трамбувач: 1 – станина, 2 – збірно-розбірна матриця, 3 – пуансон, 4 – кришка, 5 – ударний вантаж, 6 – направляючі стійки, 7 – перемичка, 8 – фіксатор

При трьох ударах вантажу на пуансон питома робота трамбування становить:

$$A = \frac{3 \times 42 \times 0,45}{1,1} = 515 \text{ Дж/кг}, \quad (1)$$

де 3 – кількість ударів вантажу, 42 – маса вантажу, кг; 0,45 – висота падіння вантажу над хвостовиком пуансона, м; 1,1 – маса випробуваної наважки вугілля (шихти), кг.

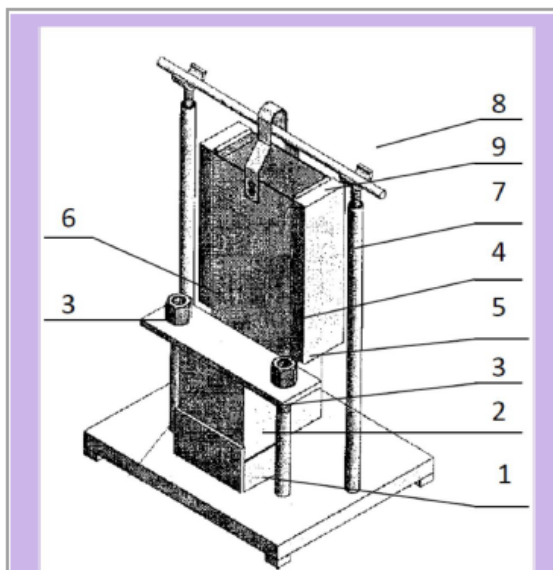


Рис. 2 Апарат для визначення міцності трамбованого пирога на зріз (σ_z): 1 – основа, 2 – столик, 3 – шпильки, 4 – затискаюча накладка, 5 – випробуваний трамбований зразок, 6 – накладка, 7 – стійки, 8 – поперечина, 9 – контейнер для проби

Величина питомої роботи трамбування в лабораторній установці приблизно відповідає роботі трамбування в промислової ТЗРМ.

Після закінчення трамбування, розбирають матрицю шляхом відгвинчування гвинтів її стінок і обережно виймають трамбований пиріг з матриці. Пиріг ставлять нижньою частиною на стіл і вимірюють його висоту по чотирьох сторонах посередині кожної грані. Висоту пирога обчислюють, як середньоарифметичне з чотирьох значень. Обсяг пирога (V_n) в см^3 обчислюють за формулою:

$$V_n = l \cdot b \cdot h, \quad (2)$$

де l – довжина пирога, см;

b – ширина пирога, см;

h – висота пирога, см.

Щільність трамбованого пирога фактичної вологості ($\gamma_{\text{вол}}, \text{г/см}^3$) обчислюють за формулою:

$$\gamma_{\text{вол}} = \frac{m}{V_n} \quad (3)$$

де m – маса пирога, г;

V_n – об'єм трамбованого пирога, см^3 .

Щільність трамбованого пирога на сухий стан ($\gamma_{\text{сух}}, \text{г/см}^3$) обчислюють за формулою:

$$\gamma_{\text{сух}} = \gamma_{\text{вол}} \cdot \frac{(100 - w_f^r)}{100} \quad (4)$$

де $\gamma_{\text{вол}}$ – щільність зразка фактичної вологості, г/см^3 ;

w_f^r – волога робоча, %.

Визначення міцності трамбованого пирога на зріз ($\sigma_{\text{зз}}$) виконують в спеціальному апараті (рис. 2). Трамбований пиріг встановлюють на столик 2 апарату таким чином, щоб задньою, коротшою гранню зразок 5 щільно стикався з обмежувальним бортиком столика рівномірно по всій довжині бортика, а рівно половина його довшого боку консольно звисала зі столика. У всіх дослідках пиріг встановлюють верхньою гранню догори, тобто не перегортаючи його при вилученні з матриці трамбувача. Притримуючи однією рукою трамбований пиріг, іншою – на нього поміщають накладку 4, протягнувши її через дві шпильки 3 апарату, і злегка притискають пиріг накладкою за допомогою гайок. Потім одночасно докручують гайки до упору з невеликим зусиллям притиснення. Після притиснення пирога він не повинен вільно рухатися на столику, але і не повинен бути перетиснутий накладкою, тому що надмірне натискання може призвести до порушення внутрішньої структури пирога і знизити його міцність.

Після закріплення трамбованого пирога на столику на консольну його частину кладуть металеву пластинку 6, а на платівку встановлюють контейнер 9 таким чином, щоб він торкався бічного торця накладки 4. Товщина цієї платівки в ~ 2 рази менше, ніж товщина накладки. Потім в контейнер плавно насипають з ємності з носиком свинцевий дріб, при цьому безперервно спостерігають за контейнером. Як тільки відбувається зріз трамбованого пирога, відразу ж припиняють подачу дробу. Після цього контейнер з дробом і платівкою зважують з точністю до 1 г.

Міцність трамбованого пирога на зріз обчислюють як відношення ваги вантажу до площі зрізу в кПа, за формулою:

$$\sigma_{\text{зз}} = \frac{9,8 \cdot P}{S} \quad (5)$$

де P – сумарна вага контейнера з дробом і платівки, кг;

S – площа зрізу зразка, см^2 ;

9,8 – прискорення сили тяжіння, м/с^2 .

Площу зрізу S (см^2) обчислюється за формулою:

$$S = b \cdot h \quad (6)$$

де b – ширина трамбованого пирога, см;

h – висота трамбованого пирога, см.

1. Оцінка міцності трамбованого індивідуального вугілля

Для визначення міцності трамбованого індивідуального вугілля відповідно до ДСТУ 4096–2002 «Методи відбору та підготовки проб до лабораторних випробувань», були відібрані вугільні концентрати, що входять до сировинної бази коксування КХВ ПАТ «АРСЕЛОРМІТТАЛ КРИВИЙ РІГ». Після відбору, вугільні концентрати були досліджені за такими параметрами: технічний (W^a , A^a , S^a , V^{daf}), пластометричний (x , y), петрографічний (R_o , V_t , S_v , I , L , ΣOK , рефлекторама витринита), елементний (C^{daf} , H^{daf} , N^{daf} , S^d , O^{daf}) і ситовий (> 50 ; 25–50; 13–25; 6–13; 3–6; 1–3; 0,5–1; 0,2–0,5; $< 0,2$ мм) аналізи. Крім того, були визначені значення коефіцієнтів розмолотості згідно Хардгроу (HGI) і показника окиснення (Δt) дослідженого вугілля. Зауважимо, що марки вугілля в таблицях і далі по тексті вказано згідно маркуванню ГОСТ 25543–2013. Результати досліджень наведені в табл. 1–4.



Крім того, досліджене вугілля було подрібнено в лабораторній молотковій дробарці при одному й тому ж навантаженні. Такий підхід до подрібнення вугілля дає можливість додатково оцінити його міцність, тобто в даному випадку дробарка використовується не тільки як агрегат для подрібнення вугілля, але і як апарат для визначення його міцності. Отримані результати представлені в табл. 5.

З даних таблиці 5 випливає, що якщо судити за вмістом класу < 3 мм, то найбільш міцним є вугілля ЦЗФ «Березовская», марка «КП» – 92,7 %. Однак, якщо про міцність вугілля судити й за вмістом класу $< 0,5$ мм, то це вугілля знаходиться на рівні вугілля марок «ГЖП» ТОВ «Ресурс», «Ж» «Rocklick» і «КС» розрізу «Краснобродский», у яких вміст класу $< 0,5$ мм складає 34,6–35,6 %.

Таблиця 1

Технологічні властивості вугільних концентратів

Постачальник, країна	Марка	Технічний аналіз, %			Пластометричні показники, мм		Коефіцієнт розмолотості згідно Хардгроу, од.	Показник окиснення, °С
		A ^d	S ^d _t	V ^{dat}	x	y		
ТОВ «Ресурс», РФ	Г	9,9	0,34	37,7	36	11	48	10
Rocklick, США	Ж	7,9	1,08	34,3	27	24	60	2
ЗФ «Щедрухинская», РФ	Ж	9,5	0,53	35,7	5	30	66	4
ЗФ «Березовская», РФ	Ж	8,6	0,51	32,5	-8	24	64	2
Integrity, США	К	7,5	1,14	25,2	24	16,5	80	2
ЗФ «Восточная», Казахстан	К+КЖ	10,8	0,39	26,3	18	17,5	69	7
ЗФ «Березовская», РФ	КП	7,6	0,40	21,3	27	12	75	5
Р-з Краснобродский, РФ	КС	7,8	0,32	24,7	32	7	70	2
ТОВ «Барзасское товарищество», РФ	КС	8,6	0,27	20,3	28	9	77	6
ЗФ «Березовская», РФ	ПС	9,9	0,33	19,2	21	9	86	11

Таблиця 2

Петрографічна характеристика вугільних концентратів

Постачальник, країна	Марка	Петрографічний склад (Без мінеральних домішок), %						Середній довільний показник відбиття вітриніту, %	Стадії метаморфізму вітриніту, %					
									0,50–0,79	0,80–0,89	0,90–1,19	1,20–1,49	1,50–1,69	1,70–2,59
									Марки вугілля, умовно відповідні стадіям метаморфізму вітриніту					
		Vt	Sv	I	L	ΣOK	R ₀		ДГ+Г	ГЖП+ГЖ	Ж	К	ПС	П
ТОВ «Ресурс», РФ	Г	81	0	18	1	18	0,73	88	12	0	0	0	0	0
Rocklick, США	Ж	85	0	12	3	12	0,96	2	19	78	1	0	0	0
ЗФ «Щедрухинская», РФ	Ж	90	0	9	1	9	0,93	0	31	69	0	0	0	0
ЗФ «Березовская», РФ	Ж	95	0	5	0	15	1,01	0	0	100	0	0	0	0
Integrity, США	К	81	0	18	1	18	1,22	10	11	20	39	18	2	0
ЗФ «Восточная», Казахстан	К+КЖ	76	0	23	3	23	1,18	0	0	60	40	0	0	0
ЗФ «Березовская», РФ	КП	47	2	51	0	53	1,20	0	0	53	42	4	0	0
Р-з Краснобродский, РФ	КС	43	2	56	0	58	1,03	2	14	74	8	0	3	0
ТОВ «Барзасское товарищество», РФ	КС	24	1	75	0	76	1,19	0	0	52	48	0	0	0
ЗФ «Березовская», РФ	ПС	69	0	31	0	31	1,54	0	0	0	42	49	9	0

Найбільш «м'яким» є вугілля марки «Ж» ЗФ «Щедрухинская» і ЗФ «Березовская», а також вугілля марки «К + КЖ» ЗФ «Восточная». Воно відрізняється найбільш високим вмістом класу <3 мм (~ 98 %) і класу <0,5 мм. Причому, якщо вугілля «Ж» ЗФ «Щедрухинская» містить 46,1 % класу <0,5 мм, то вугілля марки

«Ж» ЗФ «Березовская» та «К + КЖ» ЗФ «Восточная» відповідно на 8 і 4 % більше. Таким чином, ці два вугілля найбільш схильні до утворення «тонких» класів крупності, необхідних для забезпечення міцності трамбованого вугільного пирога з вологої шихти.

Таблиця 3

Елементний склад вугільних концентратів

Постачальник, країна	Марка	Елементний склад, %				
		C ^{daf}	H ^{daf}	N ^{daf}	S _t ^d	O _d ^{daf}
ТОВ «Ресурс», РФ	Г	83,51	5,43	2,17	0,34	8,55
Rocklick, США	Ж	86,40	5,58	1,57	1,08	5,37
ЗФ «Щедрухинская», РФ	Ж	86,38	5,79	2,67	0,53	4,63
ЗФ «Березовская», РФ	Ж	86,22	5,80	2,97	0,51	4,50
Integrity, США	К	87,96	5,10	1,65	1,14	4,15
ЗФ «Восточная», Казахстан	К+КЖ	88,80	5,15	1,75	0,39	3,91
ЗФ «Березовская», РФ	КП	87,45	4,86	2,10	0,40	5,19
Р-з Краснобродский, РФ	КС	87,85	4,67	2,38	0,32	4,78
ТОВ «Барзасское товарищество», РФ	КС	88,31	4,74	2,03	0,27	4,65
ЗФ «Березовская», РФ	ПС	89,89	4,83	2,33	0,33	2,62

Таблиця 4

Гранулометричний склад вугільних концентратів

Постачальник, країна	Марка	Гранулометричний склад (мм), %									Середній діаметр частинок, мм d _s
		>50	50–25	13–25	6–13	3–6	1–3	0,5–1	<0,5	<3	
ТОВ «Ресурс», РФ	Г	0,0	4,3	12,0	17,6	19,4	22,5	9,6	14,6	46,8	6,99
Rocklick, США	Ж	0,0	8,1	11,8	12,9	15,7	19,2	10,6	21,6	51,4	7,75
ЗФ «Щедрухинская», РФ	Ж	0,0	0,0	5,5	7,6	13,4	24,8	19,2	29,4	73,5	3,09
ЗФ «Березовская», РФ	Ж	0,0	0,8	2,8	7,0	11,7	25,7	18,3	33,8	77,8	2,74
Integrity, США	К	0,0	4,5	9,8	8,7	12,5	22,8	16,3	25,4	64,5	5,58
ЗФ «Восточная», Казахстан	К+КЖ	0,0	0,3	4,5	5,2	9,7	24,5	23,7	32,0	80,3	2,65
ЗФ «Березовская», РФ	КП	14,9	7,1	10,5	7,4	10,3	20,2	11,1	18,4	49,7	17,58
Р-з Краснобродский, РФ	КС	18,8	6,0	9,4	10,9	11,2	17,2	9,4	17,2	43,7	20,14
ТОВ «Барзасское товарищество», РФ	КС	3,3	5,6	10,0	12,5	14,1	21,0	11,7	21,9	54,6	8,82
ЗФ «Березовская», РФ	ПС	9,3	13,5	9,8	6,4	7,7	16,5	16,3	20,6	53,3	15,33

Таблиця 5

Гранулометричний склад вугілля після його подрібнення в лабораторній молотковій дробарці

Постачальник, країна	Марка	Вміст класів крупності (мм), %							
		>3	3–2	2–1	1–0,5	0,5–0,2	<0,2	<0,5	<3
ТОВ «Ресурс», РФ	Г	6,6	14,0	20,4	24,2	19,0	15,8	34,8	93,4
Rocklick, США	Ж	6,8	14,7	19,5	23,4	22,7	12,2	35,6	93,2
ЗФ «Щедрухинская», РФ	Ж	1,8	5,9	16,0	30,2	25,4	20,7	46,1	98,2
ЗФ «Березовская», РФ	Ж	2,4	5,3	13,0	25,3	28,0	26,0	54,0	97,6
Integrity, США	К	4,2	10,0	16,0	24,5	23,3	22,0	45,3	95,8
ЗФ «Восточная», Казахстан	К+КЖ	2,3	7,3	15,4	24,5	24,3	26,2	50,5	97,7
ЗФ «Березовская», РФ	КП	7,3	13,9	18,0	20,6	19,6	20,6	40,2	92,7
Р-з Краснобродский, РФ	КС	6,7	15,3	20,3	23,1	16,2	18,4	34,6	93,3
ТОВ «Барзасское товарищество», РФ	КС	4,9	11,6	17,7	22,6	27,5	15,7	43,2	95,1
ЗФ «Березовская», РФ	ПС	5,2	9,6	16,3	22,9	21,2	24,8	46,0	94,8

Таблиця 6

Міцність і щільність трамбованого вугільного пирога

Постачальник, країна	Марка	W_t^r , %	Міцність трамбованого вугільного пирога на зріз, σ_{33} , кПа	Щільність вугільного пирога, г/см ³	
				$\gamma_{\text{вол}}$	$\gamma_{\text{сух}}$
ТОВ «Ресурс», РФ	Г	11,1	8,8	1,094	0,972
Rocklick, США	Ж	11,1	12,1	1,118	0,994
ЗФ «Щедрухинская», РФ	Ж	10,9	16,4	1,126	1,003
ЗФ «Березовская», РФ	Ж	11,0	16,3	1,136	1,011
Integrity, США	К	11,2	15,2	1,141	1,013
ЗФ «Восточная», Казахстан	К+КЖ	11,0	16,6	1,155	1,028
ЗФ «Березовская», РФ	КП	10,8	14,0	1,158	1,033
Р-з Краснодарский, РФ	КС	11,1	12,8	1,141	1,014
ТОВ «Барзасское товарищество», РФ	КС	11,2	13,1	1,136	1,005
ЗФ «Березовская», РФ	ПС	11,1	15,7	1,155	1,027

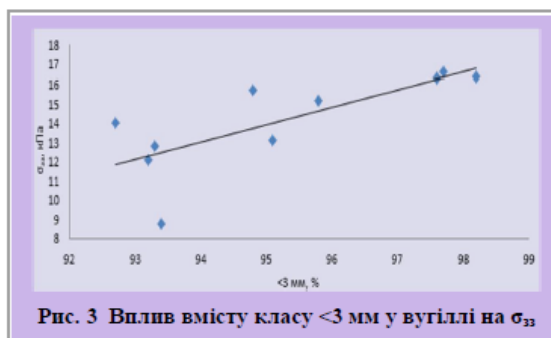
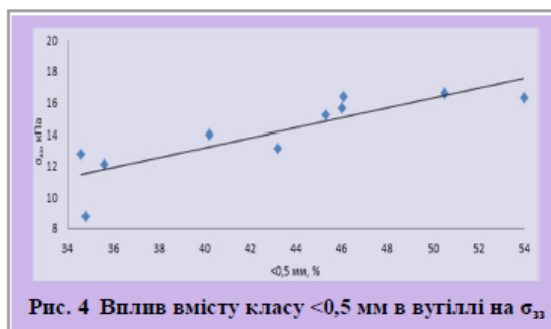
Що стосується іншого вугілля марок «К» компанії «Integrity», «ПС» ЗФ «Березовская» та «КС» ЗФ «Барзасское товарищество», то вони займають за цими показниками проміжне положення.

У таблиці 6 наведені значення показників міцності (σ_{33}) і щільності ($\gamma_{\text{вол}}$, $\gamma_{\text{сух}}$) трамбованого пирога.

Отримані дані показують, що найменшою міцністю на зріз (σ_{33}) мають трамбовані пироги з вугілля марки «ГЖП» ТОВ «Ресурс». Вони також характеризуються і найменшою щільністю. Декілька краща міцність трамбованого пирога вугілля марок «Ж» компанії «Rocklick», «КС» розрізу «Краснобродский» і «КС» компанії «Барзасское товарищество». Решта вугілля характеризуються як добре трамбоване, особливо вугілля марок «Ж» (ЗФ «Щедрухинская», ЗФ «Березовская») і «К + КЖ» ЗФ «Восточная», вміст яких в шихті найбільш бажаний. Найбільш високою щільністю в перерахунку на суху масу характеризується вугілля марок «К + КЖ» ЗФ «Восточная», «КП» і «ПС» ЗФ «Березовская». Це вугілля відносяться до високометаморфізованого. При цьому вугілля марок «К + КЖ» ЗФ «Восточная», та «ПС» ЗФ «Березовская» можна віднести до вугілля, що характеризується найбільш дрібним помолом. Вугілля марки «КП» ЗФ «Березовская» в порівнянні з зазначеними видами вугілля характеризуються більшим помолом і помітно меншою міцністю на зріз (σ_{33}).

Таким чином, міцність пирога змінюється практично синхронно зі зміною вмісту в концентратах класу крупності менше 3 мм, бо цей клас визначає компактне пакування зерен в процесі трамбування [7].

Найбільш високою міцністю трамбованих зразків на зріз (σ_{33}) має вугілля марок «Ж», «К + КЖ», «КП», а меншою міцністю володіє вугілля марок «Г», «ГЖП» і «КС».

Рис. 3 Вплив вмісту класу <3 мм у вугіллі на σ_{33} Рис. 4 Вплив вмісту класу <0,5 мм у вугіллі на σ_{33}

З огляду на вплив гранулометричного складу подрібнених проб вугілля на величину їх міцності трамбованого вугільного пирога на зріз були побудовані графічні залежності (рис. 3, 4) впливу вмісту класу <3 і <0,5 мм на σ_{33} .

Математична оцінка наведених на рис. 3 і 4 графічних залежностей представлена в табл. 7.

Таблиця 7

Математичні рівняння і статистична оцінка

№	Вид рівняння	R ² , %
(7)	$\sigma_{33} = 0,901 \cdot (< 3,0 \text{ мм}) - 74,655$	57,09
(8)	$\sigma_{33} = 0,3154 \cdot (< 0,5 \text{ мм}) + 0,5271$	72,73

Аналізуючи наведені на рис. 3,4 і в табл. 7 графічні і математичні залежності, можна зробити висновок, що збільшення вмісту класів <3 і <0,5 мм призводить до зростання показника σ_{33} .

2 Оцінка міцності трамбованого вугілля в бінарних сумішах

Практичний і науковий інтерес представляє взаємодія вугілля в сумішах, перш за все, в бінарних. Для відповіді на це питання взяли суміш з двох зразків ву-

гілля в співвідношенні 50:50 %. У якості вугілля з низькою міцністю трамбованого пирога використали вугілля марки «ГЖП» ТОВ «Ресурс», а з високою - «К + КЖ» ЗФ «Восточная», σ_{33} яких 8,8 і 16,6 кПа відповідно. У табл. 8 наведені розрахункові і фактичні значення міцності трамбованого вугільного пирога на зріз (σ_{33}).

Аналізуючи дані, наведені в табл. 8, можна зробити висновок, що фактичні значення σ_{33} є вище розрахункових значень для бінарних сумішей.

Таблиця 8

Фактичні та розрахункові значення σ_{33} бінарної суміші

Суміш	Міцність трамбованого вугільного пирога, σ_{33} , кПа		
	Розрахункове значення, $\sigma_{33,р}$	Фактичне значення, $\sigma_{33,ф}$	$\sigma_{33,ф} - \sigma_{33,р}$
50 % ТОВ «Ресурс» + 50 % ЗФ «Восточная»	12,7	14,3	1,6



3. Оцінка впливу гранулометричного складу вугільної шихти на міцність трамбованого пирога

Вплив гранулометричного складу (помолу) дробленої вугільної шихти на міцність трамбованого пирога

вивчали на шихті марочного і компонентного складів, наведених у табл. 9.

Таблиця 9

Постачальник, країна	Марка	Участь, %
ТОВ «Ресурс», РФ	ГЖП	46
«Rocklick», США	Ж	7
ЗФ «Березовская», РФ	Ж	9
ЗФ «Восточная», Казахстан	К+КЖ	13
ЗФ «Березовская», РФ	ПС	5
Р-з «Красный Брод», РФ	КС	10
ТОВ «Барзасское товарищество», РФ	КС	10
Разом		100

Показники якості дослідної вугільної шихти наведені в табл. 10–13.

Таблиця 10

Технологічні властивості вугільної шихти

Технічний аналіз, %			Пластометричні показники, мм	
A^d	S_t^d	V^{daf}	x	y
9,3	0,41	31,7	27	13

Таблиця 11

Петрографічна характеристика вугільної шихти

Петрографічний склад (Без мінеральних домішок), %					Середній довільний показник відбиття вітриніту, %	Стадії метаморфізму вітриніту, %					
						0,50–0,79	0,80–0,89	0,90–1,19	1,20–1,49	1,50–1,69	1,70–2,59
						Марки вугілля, умовно відповідні стадіям метаморфізму вітриніту					
Vt	Sv	I	L	ΣOK	R_0	ДГ+Г	ГЖП+ГЖ	Ж	К	ПС	П
71	0	28	1	29	0,93	41	8	38	13	0	0

Таблиця 12

Елементний склад вугільної шихти

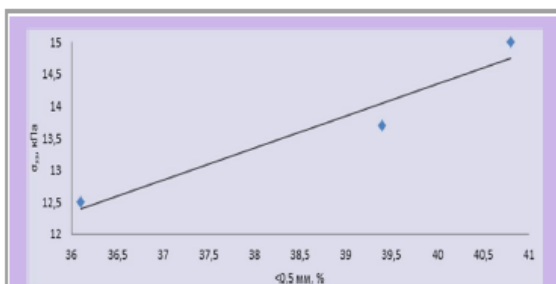
Елементний склад, %				
C^{dat}	H^{dat}	N^{dat}	S_t^d	O_d^{dat}
85,75	5,26	2,15	0,41	6,42

Таблиця 13

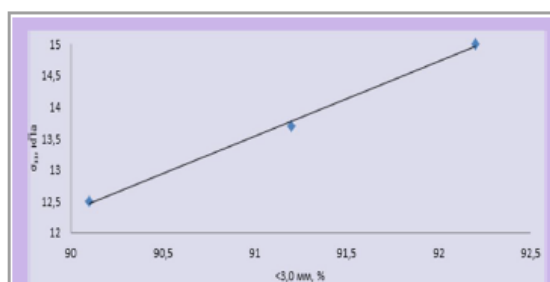
Гранулометричний склад вугільної шихти

Гранулометричний склад (мм), %									Середній діаметр частинок, мм
>50	50–25	13–25	6–13	3–6	1–3	0,5–1	<0,5	<3	
3,0	5,7	9,6	13,0	15,4	22,0	12,6	20,3	54,9	8,12

Вологість складової шихти при різній міцності була практично постійною і становила ~11,0 %. Гранулометричний склад шихти і значення міцності трамбованого пирога при різних помолх (90,1–92,2 %) наведені в табл. 14, а на рис. 5 і 6 наведені графічні залежності впливу вмісту класу менше 3 мм і менше 0,5 мм на значення σ_{33} вугільної шихти.

Рис. 5 Вплив вмісту класу <0,5 мм в шихті на σ_{33}

Отримані результати показують, що зі збільшенням рівня подрібнення міцність трамбованого пирога закономірно підвищується. Щільність пирога спочатку дещо підвищується, а потім різко падає.

Рис. 6 Вплив вмісту класу <3,0 мм в шихті на σ_{33}

Такий хід зміни щільності пирога можна пояснити тим, що з підвищенням рівня подрібнення підвищується показник σ_{33} , тобто підвищується зчеплення між вугільними зернами, в результаті чого щільність пирога

підвищується. При подальшому збільшенні рівня подрібнення кількість дрібних частинок настільки збільшується, що вони вже повинні зашкоджувати більш компактному розташуванню більших зерен, що і призводить

до меншої щільності трамбованого пирога, хоча міцність пирога і збільшується.

У табл. 15 наведені математичні рівняння і статистична оцінка впливу вмісту класу менше 0,5 і менше 3 мм у вугільній шихті на значення $\sigma_{\text{зз}}$.

Таблиця 14

Гранулометричний склад, міцність і щільність трамбованої шихти

Шихта	Гранулометричний склад, (мм), %					$\sigma_{\text{зз}}$ кПа	$\gamma_{\text{вол}}$ г/см ³	$\gamma_{\text{сух}}$ г/см ³
	>3	1–3	0,5–1	<0,5	<3			
1	9,9	28,3	25,7	36,1	90,1	12,5	1,146	1,020
2	8,8	29,9	21,9	39,4	91,2	13,7	1,143	1,017
3	7,8	32,0	19,4	40,8	92,2	15,0	1,140	1,015

Таблиця 15

Математичні рівняння і статистична оцінка

№	Вид рівняння	R^2 , %
(9)	$\sigma_{\text{зз}} = 0,5017 \cdot (< 0,5 \text{ мм}) - 5,7166$	93,76
(10)	$\sigma_{\text{зз}} = 1,1888 \cdot (< 3,0 \text{ мм}) - 94,6480$	99,74

4. Оцінка впливу вологості шихти на міцність трамбованого пирога

Вплив вологості шихти на міцність трамбованого пирога виконували на подрібненій виробничій шихті для трамбування КХВ ПАТ «АРСЕЛОРМІТТАЛ

КРИВИЙ РІГ». Гранулометричний склад шихти наведений в табл. 16.

При проведенні досліджень вологість змінювалося від 10,0 до 13,0 % з кроком через кожні 0,5 %. Отримані результати наведені в табл. 17.

Таблиця 16

Гранулометричний склад виробничої шихти

Вміст класів крупності (мм), %								
>6	6–3,15	3,15–1	1–0,5	0,5–0,2	0,2–0,075	<0,075	<3,15	<0,5
1,1	6,9	24,3	23,0	24,6	14,4	5,7	92,0	44,7

Таблиця 17

Міцність трамбованої виробничої вугільної шихти

W_t^r , %	Міцність трамбованого пирога на зріз, $\sigma_{\text{зз}}$, кПа	Щільність вугільного пирога, г/см ³	
		$\gamma_{\text{вол}}$	$\gamma_{\text{сух}}$
10,0	14,8	1,142	1,017
10,5	16,5	1,144	1,018
11,0	17,1	1,147	1,021
11,5	17,5	1,149	1,023
12,0	17,0	1,148	1,022
12,5	16,4	1,141	1,016
13,0	15,2	1,139	1,014

Таблиця 18

Математичні рівняння і статистична оцінка

№	Вид рівняння	Статистична оцінка	
		R^2	Оптимум
(11)	$\sigma_{\text{зз}} = -1,0619(W_t^r)^2 + 24,488 \cdot W_t^r - 123,76$	98,22	11,5
(12)	$\gamma_{\text{вол}} = -0,0036(W_t^r)^2 + 0,0822 \cdot W_t^r + 0,6808$	86,66	11,4
(13)	$\gamma_{\text{сух}} = -0,0031(W_t^r)^2 + 0,0714 \cdot W_t^r + 0,6161$	84,53	11,5

На рис. 7 і 8 наведено графічні, а в табл. 18 математичні залежності впливу вологості вугільної шихти на її міцність і щільність.

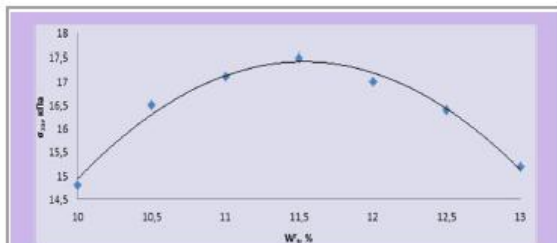


Рис. 7 Залежність міцності трамбованого пирога від вологості шихти

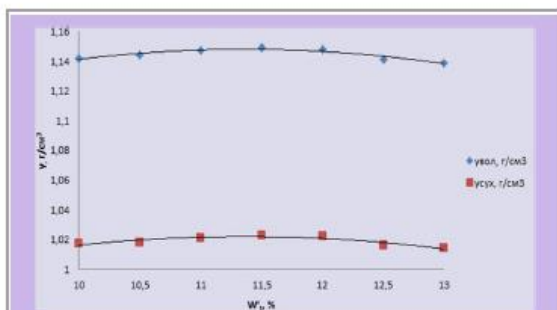


Рис. 8 Залежність щільності трамбованого пирога від вологості шихти

Дані таблиці 18 і рис. 7, 8 свідчать, що при збільшенні вологості шихти з 10,0 до ~11,5 % міцність трамбованого пирога зростає. Зростає також і його щільність, як вологого, так і в перерахунку на суху масу. В області $W_t \approx 11,5$ % спостерігаються найбільш висока міцність трамбованого пирога. Після вологості 11,4–11,5 % відзначається спад, як міцності, так і щільності трамбованого пирога. Отже, вологість шихти для трамбування доцільно витримувати в діапазоні ~11,5 %. Збільшення вмісту води вище 11,5 % також небажано через збільшення витрат тепла на коксування, яке йде на випаровування води.

На підставі проведених досліджень, можна сформулювати такі основні висновки:

1. Встановлено, що щільність трамбованого пирога (σ_{33}) з подрібненого індивідуального вугілля, що входить в сировинну базу КХВ ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» тісно пов'язана з вмістом класів <3 і $<0,5$ мм. Збільшення вмісту класів <3 і $<0,5$ мм призводить до зростання показника σ_{33} .

2. Показано, що фактичні значення σ_{33} для бінарних вугільних сумішей є вище розрахованих.

3. Встановлено, що зі збільшенням рівня помолу вугільних шихт з 90,1 до 92,2 % відбувається зростання величини показника σ_{33} з 12,5 до 15,0 кПа, тобто на 20 %.

4. При збільшенні вологості шихти з 10,0 до 11,5 % міцність трамбованого пирога зростає. Збільшення вмісту води вище 12 % небажано через зниження міцності трамбованого вугільного пирога, а також збільшення витрат тепла на коксування, яке йде на випаровування води.



Бібліографічний список

1. Романюк І.В. Особенности формирования и перспективы развития угольной сырьевой базы коксохимического производства КХП ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог» / И.В. Романюк, И.И. Сикан, С.С. Селин, Н.В. Мукина, И.Д. Дроздник, Д.В. Мирошниченко // УглеХимический журнал. – 2016. – № 3. – С. 12–17.

2. Попов Е.С. Межбассейновая сырьевая база коксохимического производства Украины: Проблемы

формирования шихт, их подготовки и коксования / Е.С. Попов, В.И. Гаврилюк, Н.В. Мукина, Е.Т. Ковалев, И.Д. Дроздник, Н.Б. Бидоленко // УглеХимический журнал. – 2018. – № 5. – С. 3–7. DOI: 10.31081/1681-309X-2018-0-5-3-7.

3. Чуб В.Е. О влиянии различных факторов на количество обвалов трамбованных угольных пирогов при загрузке в коксовые печи / В.Е. Чуб, С.Н. Дзекунов, А.Д. Мокрицких, В.М. Кузниченко, Н.И. Малько // УглеХимический журнал. – 2002. – № 3–4. – С. 15–18.

4. Кривонос В.В. Освоение технологии трамбования на Алчевском КХЗ с использованием углей Украины и России / В.В. Кривонос, Ю.С. Васильев, И.Д. Дроздник, В.М. Кузниченко, А.А. Лобов, Н.И. Малько // УглеХимический журнал. – 1998. – № 3–4. – С. 10–14.

5. Ковалев Е.Т. Теория и практика производства доменного кокса высокого качества из трамбованных

шихт пониженной спекаемости / Е.Т. Ковалев, Ю.С. Васильев, В.М. Кузниченко, В.В. Кривонос, А.Б. Данилов, М.А. Соловьев // УглеХимический журнал. – 2009. – № 3–4. – С. 24–30.

6. Чучминов В.Н. О трамбуемости углей и угольных шихт / В.Н. Чучминов, Э.А. Приходько, В.М. Кузниченко, Н.И. Малько // Кокс и химия. – 1993. – № 11–12. – С. 2–4.

7. Белошанка И.В. Влияние качества угольных концентратов на их насыпную плотность / И.В. Белошанка, И.И. Сикан, Б.Я. Василенко, Н.В. Мукина, С.С. Селин, О.А. Кобзарь, И.Д. Дроздник, Д.В. Мирошниченко, Е.В. Иванова, Н.А. Десна // УглеХимический журнал. – 2011. – № 3–4. – С. 9–12.

Рукопис надійшов до редакції 12.04.2021

DOI: 10.31081/1681-309X-2021-0-3-8-20

Specialty 161. U.D.C. 662.74

PREPARATION OF COAL CHARGE FOR COKE BATTERY COMPLEX No. 5, 6 AT COKE PRODUCTION OF PJSC «ARCELORMITTAL KRYVYI RIH»

© N.V. Mukina, A.P. Chernousova (Coke Production of PJSC «ArcelorMittal Kryvyi Rih», 50095, Dnipropetrovsk region, Kryvyi Rih, Kryvorizhstal str., 1, Ukraine), D.V. Miroshnichenko, Doctor of Technical Sciences (NTU "Kharkov Polytechnic Institute", 61002, Kharkov, Kirpicheva st, 2, Ukraine), N.A. Desna, PhD in technical sciences, A.V. Sytnik, PhD in technical sciences, V.V. Koval (State Enterprise "Ukrainian State Research Coal Chemical Institute (UHHN)", 61023, Kharkov, Vesnina st., 7, Ukraine)

The article highlights the methodological foundations and the results of research on the development of criteria and practical recommendations aimed at optimizing the composition of coal charges of coke oven batteries No. 5, 6 of the coke-chemical production of PJSC "ArcelorMittal Kryvyi Rih" to obtain coke of the required quality from the rammed charge. The defining indicator of the production of coke using the technology of compaction of coal charges is the strength of the compacted cake. The most successful way to determine this indicator is to assess the strength by an indirect method according to the value of the shear strength (σ_{ss}) of rammed batch samples in laboratory conditions. This method allows to identify changes in the strength of the coal cake and take the necessary measures to prevent or minimize the number of collapses during loading. The article gives images of installations for laboratory compaction of coal charge and determination of the shear strength of the resulting cake; the methodology for determining this indicator is given.

As a result of the above studies, it has been established that the density of the tamped cake from crushed individual coals included in the raw material base of the by-product coke production of PJSC "ArcelorMittal Kryvyi Rih" is closely related to the content in coal raw materials of classes <3 and <0.5 mm. An increase in the content of classes <3 and <0.5 mm leads to an increase in the index σ_{ss} . It is also shown that the actual values of σ_{ss} for binary coal mixtures are higher than the calculated ones.

It has been established that with an increase in the level of grinding of coal charges from 90,1 to 92,2 %, an increase in the value of the index σ_{ss} is observed from 12.5 to 15.0 kPa, that is, by 20 %. With an increase in the moisture content of the charge from 10,0 to 11,5 %, the strength of the compacted cake increases. An increase in the moisture content above 12 % is undesirable due to a decrease in the strength of the rammed coal cake, as well as an increase in heat consumption for coking due to the consumption of moisture evaporation.

Keywords: coal, preparation, shear strength of the rammed cake, moisture content, particle size distribution.

Corresponding author N.V. Mukina, e-mail: Natalia.Mukina@arcelormittal.com



DOI: 10.31081/1681-309X-2021-0-3-8-20

Спеціальність 161. УДК 662.74

ПОДГОТОВКА УГОЛЬНОЙ ШИХТЫ К КОКСОВАНИЮ В УСЛОВИЯХ КОМПЛЕКСА КОКСОВЫХ БАТАРЕЙ №5, 6 КХП ПАО «АРСЕЛОРМИТТАЛ КРИВОЙ РОГ»

© Н.В. Мукина, А.П. Черноусова (Коксохимическое производство ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог», 50095, Днепропетровская обл., г. Кривой Рог, ул. Криворожстали, 1, Украина), Д.В. Мпрошниченко, д.т.н. (НТУ «Харьковский политехнический институт», 61002, г. Харьков, ул. Кирпичева, 2, Украина), Н.А. Десна, к.т.н., А.В. Сытник, к.т.н., В.В. Коваль (Государственное предприятие «Украинский государственный научно-исследовательский углехимический институт (УХИН)», 61023, г. Харьков, ул. Веснина, 7, Украина)

В статье освещены методические основы и результаты исследований по разработке критериев и практических рекомендаций, направленных на оптимизацию составов угольных шихт коксовых батарей №5 и 6 коксохимического производства ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог» для получения кокса необходимого качества из трамбованной шихты. Определяющим показателем производства кокса с применением технологии трамбования угольных шихт является прочность трамбованного пирога. Самым удачным способом определения этого показателя служит оценка прочности косвенным методом по величине усилия среза ($\sigma_{\text{сз}}$) трамбованных образцов шихты в лабораторных условиях. Этот метод позволяет выявить изменение прочности угольного пирога и принять необходимые меры по недопущению или минимизации количества его обвалов при загрузке. В статье даны изображения установок для лабораторного трамбования угольной шихты и определения прочности получаемого пирога на срез; приведена методика выполнения определения этого показателя. В результате изложенных исследований установлено, что плотность трамбованного пирога из измельченных индивидуальных углей, входящих в сырьевую базу коксохимического производства ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог», тесно связана с содержанием в угольной сырьевых классов <3 и <0,5 мм. Увеличение содержания классов <3 и <0,5 мм приводит к росту показателя $\sigma_{\text{сз}}$. Также показано, что фактические значения $\sigma_{\text{сз}}$ для бинарных угольных смесей является выше расчетных.

Установлено, что с увеличением уровня помола угольных шихт с 90,1 до 92,2 % отмечается рост величины показателя $\sigma_{\text{сз}}$ с 12,5 до 15,0 кПа, то есть на 20 %. При увеличении влажности шихты с 10,0 до 11,5 % прочность трамбованного пирога растет. Увеличение содержания влаги выше 12 % нежелательно из-за снижения прочности трамбованного угольного пирога, а также увеличения расхода тепла на коксование за счет расхода на испарение влаги.

Ключевые слова: уголь, подготовка, прочность трамбованного пирога на срез, влажность, гранулометрический состав.

Автор для корреспонденции Н.В. Мукина, e-mail: Natalia.Mukina@arcelormittal.com

DOI: 10.31081/1681-309X-2021-0-3-20-29

Спеціальність 161. УДК 622.749.2

РОЗРОБКА РАЦІОНАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ОБІГІВУ КОКСОВОЇ БАТАРЕЇ З ТРАМБУВАННЯМ ВУГІЛЬНОЇ ШИХТИ

© В.І. Гончаров¹, І.І. Сікан², Я.І. Дячук³, Н.В. Мукіна⁴

Коксохімічне виробництво ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», 50095, Дніпропетровська обл., м. Кривий Ріг, вул. Криворіжстали, 1, Україна

І.В. Шульга⁵

Державне підприємство «Український державний науково-дослідний вуглехімічний інститут (УХІН)», 61023, м. Харків, вул. Весніна, 7, Україна

¹Гончаров Владислав Ігорович, директор, e-mail: Vladislav.Goncharov@arcelormittal.com

²Сікан Іван Іванович, головний інженер, e-mail: Ivan.Sikan@arcelormittal.com

³Дячук Ярослав Ігорович, заст. нач. коксового цеху № 1, e-mail: Yaroslav.Dyachuk@arcelormittal.com

⁴Мукіна Наталя Володимирівна, нач. технічного відділу, e-mail: Natalia.Mukina@arcelormittal.com

⁵Шульга Ігор Володимирович, к.т.н., доц., зав. коксовим відділом, e-mail: ko@ukhin.org.ua