

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

В.І. Мещанін, Д.В. Мірошніченко, С.В. Пиш'єв

**ВПЛИВ ВОЛОГИ ВУГІЛЬНОЇ ШИХТИ НА ЇЇ ПІДГОТОВКУ ДО
КОКСУВАННЯ**

Монографія

*Рекомендовано Вченою радою
Національного технічного університету
«Харківський політехнічний інститут»*

Харків 2023

УДК 669.1

М 86

Рецензенти:

О.Б. Гринишин, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри хімічної технології переробки нафти, газу та твердого палива Національного університету «Львівська політехніка»

М.С. Чемеринський, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри металургійного палива та вогнетривів Українського Державного університету науки і технологій

*Рекомендовано Вченою радою НТУ «ХПІ»
(протокол № 3 від 31 березня 2023 року)*

Мещанін В.І.

М 86 Вплив вологи вугільної шихти на її підготовку до коксування: монографія / В.І. Мещанін, Д.В. Мірошніченко, С.В. Пиш'єв.–Х.: НТУ «ХПІ», Видавництво «Крок», 2023 – 123 с.

ISBN 978-617-692-773-0

Монографія спрямована на розвиток наукових основ і уявлень щодо впливу вмісту вологи на умови підготовки вугільної шихти до коксування.

УДК 669.1

ISBN 978-617-692-773-0

© В.І. Мещанін, Д.В. Мірошніченко, С.В. Пиш'єв

© Видавництво «Крок»

ЗМІСТ

	Стор.
Передмова	5
ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. ВОЛОГА У ВУГІЛЛІ. ОГЛЯД	8
1.1 Види вологи у вугіллі	8
1.2 Регулювання рівня вологи у вугільних шихтах	16
1.3 Вплив вологи на технологічні чинники виробництва коксу	21
1.3.1 Насипна щільність вугільного завантаження	21
1.3.2 Подрібнюваність вугільного завантаження	23
1.3.3 Теплота згоряння коксового газу	24
1.3.4 Витрата тепла на коксування	25
1.3.5 Корозія металевих конструкцій установок мокрого гасіння коксу	25
ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 1	28
РОЗДІЛ 2. МЕТОДОЛОГІЯ ДОСЛІДЖЕННЯ	29
2.1 Використані методи вивчення складу та властивостей вугілля та вугільних шихт	29
2.2 Визначення насипної щільності вугільної шихти згідно ДСТУ 7123:2009	29
2.3 Визначення насипної щільності вугілля в апараті ДП «УХІН»	30
2.4 Визначення насипної щільності вугілля в силосах дозувального відділення ПРАТ «ЗАПОРІЖКОКС»	31
2.5 Методика визначення оптимальних кутів нахилу жолобів трактів шихтоподачі	37
ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 2	39
РОЗДІЛ 3. ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ВОЛОГИ НА НАСИПНУ ЩІЛЬНІСТЬ ВУГІЛЬНИХ КОНЦЕНТРАТІВ ТА ВУГІЛЬНИХ ШИХТ	40
3.1 Вплив вологи на насипну щільність вугільних концентратів	40

3.2 Визначення впливу вологи на насипну щільність вугільних шихт	54
3.2.1 КХВ ПРАТ «МК «АЗОВСТАЛЬ»	55
3.2.2 ПРАТ «ЗАПОРІЖКОКС»	60
ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 3	68
РОЗДІЛ 4. ЗМІНА ВОЛОГИ ПІД ЧАС РОЗМОРОЖУВАННЯ ТА ПІДГОТОВКИ ВУГІЛЛЯ ДО КОКСУВАННЯ	69
4.1 Вплив вмісту вологи на змерзання вугілля	69
4.2 Витрати вологи під час підготовки вугілля до коксування	81
4.2.1 Визначення витрат вологи при транспортуванні вугільних концентратів	81
4.2.2 Визначення витрат вологи при транспортуванні вугільної шихти	88
4.2.3 Розрахунок економічної ефективності виконаного дослідження	94
ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 4	96
РОЗДІЛ 5. ВПЛИВ ВОЛОГИ НА СИПКІСТЬ ВУГІЛЬНОЇ ШИХТИ	97
5.1 Теоретичні дані	97
5.2 Експериментальні дані	100
ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 5	112
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	113
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	115

ПЕРЕДМОВА

Ця робота спрямована на розвиток наукових основ і уявлень щодо впливу вмісту вологи на умови підготовки вугільної шихти до коксування.

В ній встановлено, що максимальна вологоємність залежить від природи вугілля, ступеня його метаморфізму, вираженого показниками виходу летких речовин, відбиття вітриніту, вмістом вуглецю і водню, а також величиною його теплоти згоряння. При переході від грубішого класу до дрібного максимальна вологоємність підвищується внаслідок зростання питомої поверхні вугілля.

Підвищення вологості веде до зниження розмолоздатності вугілля, що ускладнює досягнення однорідності подрібнення і знижує плинність вугілля. Наявні дані, що підвищення вологості шихти призводить до деякого підвищення теплоти згоряння коксового газу. Однак підвищена вологість вугілля не лише збільшує витрату тепла, але і сприяє утворенню більш нерівномірного по крупності коксу, зниженню його механічної міцності і збільшенню пористості, а також призводить до зменшення терміну служби печей.

Встановлено, що вугільні шихти характеризуються мінімальною насипною щільністю при вологості, рівній 7,1 %. Зниження або збільшення вологості вугільних шихт в інтервалі від 4 до 12 % призводить до зростання їх насипної щільності.

Методами математичної статистики було отримано рівняння, що описує зміну маси вугілля при його розморожуванні в залежності від вмісту в ньому вологи, середнього діаметра його частинок і часу перебування в гаражі розморожування. Це рівняння дозволяє оцінити зниження маси вугілля в процесі розморожування в залежності від показників його якості та умов перебування в гаражі розморожування.

Встановлено, що змерзання частинок починається при вмісті в них вологи, що перевищує значення максимальної вологоємності. У свою чергу, величина максимальної вологоємності залежить від ступеня метаморфізму і в

діапазоні коксівного вугілля має максимальні значення у малометаморфізованого вугілля газової групи.

Розроблено, виготовлено, а також використане унікальне обладнання для визначення оптимальних кутів нахилу жолобів вугільного тракту шихтоподачі для вугільної шихти різної вологи, гранулометричного та компонентного складів при різному навантаженні.

Ці розробки певним чином узагальнює досвід її авторів, набутий ними під час роботи у виробничому та науковому секторах коксохімічної підгалузі. Сподіваємось, що монографія стане в нагоді та буде корисною фахівцям вугільного, коксохімічного та металургійного виробництв, керуючих компаній, науково-дослідних і проектних організацій, а також викладачам, аспірантам і студентам зі спеціалізації «Технології переробки нафти, газу та твердого палива» спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія».

ВСТУП

Для виробництва близька 8,3 млн. т доменного коксу в Україні у 2020 році було використано 13,4 млн. т вугілля, зокрема, 3,6 млн т українського вугілля та 9,8 млн. т імпортного [1]. Необхідно зазначити, що це вугілля поставлялося на коксохімічні підприємства України з вологою на рівні 7–11 %, тобто 0,94–1,44 млн. т вологи потрібно було транспортувати, розвантажити, складувати та підготувати до коксування разом з вугіллям.

Відомо, що вологість вугільної шихти істотно впливає на тепловий режим коксової батареї, а також витрату тепла на коксування. Підвищена вологість не тільки збільшує витрату тепла, але і сприяє утворенню більш нерівномірного по крупності коксу, а також призводить до зменшення терміну служби печей.

Враховуючи зазначене вище, є доцільним виконання досліджень щодо визначення впливу вологи на насипну щільність вугільних концентратів та вугільних шихт; зміни вологи під час розморожування та підготовки вугілля до коксування, а також впливу вологи на сипкість вугільної шихти.

РОЗДІЛ 1

ВОЛОГА У ВУГІЛЛІ. ОГЛЯД

1.1 Види вологи у вугіллі

Згідно [2] волога вугілля в пласті в його природному заляганні називається пластовою. Зазвичай пласти вугілля містять воду в значно більшій кількості, ніж це зумовлено природою і віком вугілля, тому вміст пластової вологи часто не є характерним для вугілля показником.

Частинка вугілля, видобута з пласта, втрачає на повітрі вологу, що знаходиться на її зовнішній поверхні, так звану вологу змочування, або вільну. Після видалення цієї вологи в куску свіжовидобутого вугілля, який повністю насичений водою, залишається волога, властива цьому вугіллю, його хімічній природі, петрографічному складу і ступеню вуглефікації. Вміст цієї вологи у вугіллі (вологовміст) можна приблизно оцінити за допомогою такого показника, як максимальна вологоємність.

Поняття «вологовміст» вугілля об'єднує вологу різних видів. Частинка вугілля пронизана тріщинками, а також закритими і відкритими порами (капілярами) різних розмірів. Через високу пористість внутрішня поверхня 1 г вугілля сягає декількох десятків квадратних метрів. На зовнішній і внутрішній поверхнях вугілля сорбуються молекули води. Розрізняють найбільш міцно утримуваний мономолекулярний шар і наступні шари молекул води, зв'язок яких з поверхнею вугілля поступово слабшає. Ця адсорбційно-зв'язана вода утворює плівку на зовнішній і внутрішній поверхнях вугілля, на стінках тріщин і пор. Крім того, в надрах, де пласти вугілля обводнені, тріщини і пори заповнюються водою (капілярна волога). Вугілля в покладах насичується водою протягом всього процесу вуглефікації, тому в частинках свіжовидобутого вугілля не тільки відкриті, але і закриті пори (що не споріднені із зовнішнім середовищем) заповнені водою. Волога закритих пір видаляється лише після подрібнення вугілля.

Гідратна вода входить до складу мінеральної частини вугілля у вигляді

кристалогідратів, наприклад, глини (алюмосилікати складу $x\text{SiO}_2 \cdot y\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot m\text{MeO} \cdot n\text{H}_2\text{O}$) і гіпсу ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).

Таким чином, вода у вугіллі знаходиться в різних станах: у вигляді крапель, плівок, молекул, адсорбованих на поверхні, у вигляді капілярної вологи, а також може входити до складу мінеральної частини вугілля.

Адсорбційна волога пов'язана із зовнішньою і внутрішньою поверхнями вугілля силами молекулярної взаємодії, і тому за своїми властивостями вона відрізняється від звичайної води: їй властиві знижена пружність пари, підвищена густина, нездатність розчиняти електроліти і знижена температура замерзання. Зі зростанням числа шарів молекул води міцність зв'язку з поверхнею вугілля слабшає, і властивості адсорбційної вологи поступово наближаються до звичайної води. Звідси ясно, що неможливо провести чіткий розподіл вологи в порах на адсорбційну і капілярну.

Відсутність чітких меж між окремими видами вологи ускладнює їх кількісне визначення.

Для зручності визначення вологи у вугіллі і відповідно до прийнятих на практиці методів аналізу вологу вугілля поділяють на вологу зовнішню і вологу повітряно-сухого палива.

Волога зовнішня – частина загальної вологи палива, яка видаляється при його висушуванні до повітряно-сухого стану.

Волога повітряно-сухого палива – частина загальної вологи палива, яка залишається в ньому після висушування до повітряно-сухого стану.

Для характеристики вологості вугілля в цілому (вологовміст вугілля) використовують термін «**волога загальна**» – загальний вміст зовнішньої вологи і вологи повітряно-сухого палива.

Такий поділ, з точки зору видів вологи, можна оцінити наступним чином. При висушуванні вугілля на повітрі видаляється вільна волога із зовнішньої поверхні часток і капілярна волога з відкритих тріщин і пір (зовнішня волога). У повітряно-сухому вугіллі залишаються капілярна волога закритих пір, адсорбційна і гідратна вологи. За висушування подрібненого вугілля при $105\text{ }^{\circ}\text{C}$

з пір, розкритих при подрібненні, видаляються капілярна і адсорбційна вологи.

В роботі [3] зроблено спробу розробити математичні залежності, що дозволяють прогнозувати значення максимальної вологоємності (W_{max}) вугілля різних родовищ.

У табл. 1.1 наведені математичні рівняння і статистична оцінка залежностей максимальної вологоємності від показників властивостей вугілля.

Таблиця 1.1

Математичні рівняння

№	Вид рівняння	R^2	σ , %
(1.1)	$W_{max} = 0,4251 \cdot (W^a)^2 + 0,5694 \cdot W^a + 1,2954$	0,89	0,33
(1.2)	$W_{max} = 0,0113 \cdot (V^{daf})^2 - 0,5779 \cdot V^{daf} + 9,2706$	0,63	0,60
(1.3)	$W_{max} = 7,1136 \cdot (R_0)^2 - 18,643 \cdot R_0 + 13,987$	0,74	0,49
(1.4)	$W_{max} = 0,0844 \cdot (C^{daf})^2 - 15,004 \cdot C^{daf} + 668,97$	0,73	0,55
(1.5)	$W_{max} = 0,1122 \cdot (O_d^{daf})^2 - 0,7123 \cdot O_d^{daf} + 3,1635$	0,76	0,42
(1.6)	$W_{max} = 0,1116 \cdot (Q_s^{daf})^2 - 9,1173 \cdot Q_s^{daf} + 185,73$	0,81	0,36

У цій же роботі показано, що величина зольності проби в діапазоні від 3,7 до 35,3 % суттєво не впливає на величину максимальної вологоємності вугілля. Аналогічно можна сказати і про вплив хімічного складу золи на величину максимальної вологоємності. У дослідженому діапазоні значень $I_o=1,24-27,18$ і $B_i=0,198-1,832$ зміна хімічного складу золи практично не призводить до зміни величини максимальної вологоємності вугілля.

Були проведені дослідження з метою визначення впливу окиснення на зміну величини максимальної вологоємності вугілля, результати якого наведені в роботі [4].

У табл. 1.2 наведено динаміку зміни величини W_{max} при окисненні вугілля.

Аналізуючи дані табл. 1.2, можна зробити висновок, що хоча окиснення і призводить до зростання максимальної вологоємності, проте величина її приросту зі збільшенням ступеня окиснення менше величини похибки її

визначення. При окисненні практично 30 % органічної маси вугілля значення максимальної вологоємності збільшилося лише на 0,4 %.

Таблиця 1.2

Динаміка зміни показників технічного аналізу і величини W_{max} при окисненні вугілля

Період окиснення, год.	Технічний аналіз, %			W_{max} , %	Показники окиснення згідно ДСТУ 7611:2014 [5]	
	A^d	S_t^d	V^{daf}		Δt , °C	d_0 , %
0	7,4	1,84	31,2	1,6	3	9,3
271	7,4	1,87	30,3	1,7	5	15,6
608	7,1	1,87	31,5	1,9	7	21,9
680	6,6	1,88	31,6	2,0	10	29,4

В реальних умовах зберігання вугілля на відкритих складах заводів час вологонасичення значно більше, ніж при визначенні цього показника [6] через вплив атмосферних опадів. Крім того, вугілля зберігається в штабелях у недробленому вигляді протягом принаймні декількох діб, тому важливо враховувати вплив класів крупності вугілля на їх вологонасичення.

В роботі [7] визначали показник максимальної вологоємності в різних класах крупності вугілля марки «К»+«КЖ» ЦЗФ «Східна» (табл. 1.3).

Таблиця 1.3

Залежність максимальної вологоємності вугілля від його гранулометричного складу

Клас крупності, мм	W_{max} , %
≤ 3	13,4
3–7	11,2
7–15	9,8
> 15	9,9

В роботі [8] вивчали розподіл максимальної вологоємності вугілля різних марок в більш широких діапазонах їх крупності (табл. 1.4).

Максимальна вологоємність вугілля різних класів крупності (мм)

Постачальник	Марка	Доба	Максимальна вологоємність, W_{max} , %							
			80–60	60–40	40–25	25–10	10–6	6–3	<3	0–80
Ш. «Західно-Донбаська»	<i>ДГ</i>	1	9,19	9,21	9,29	9,40	9,45	9,71	9,84	9,44
		2	9,56	9,67	9,57	9,83	9,92	10,04	10,15	9,82
ЦЗФ «Добропільська»	<i>Г</i>	1	-	6,45	6,60	6,58	6,63	6,64	6,69	6,59
		2	-	6,75	6,74	6,70	6,75	6,77	6,80	6,75
Шахта ім. Засядька	<i>Ж</i>	1	-	-	1,75	1,78	1,84	1,92	2,01	1,86
		2	-	-	1,91	1,94	2,02	2,06	2,11	2,00
Розріз «Краснобродський»	<i>СС</i>	1	-	-	1,54	1,81	1,82	1,90	2,01	1,86
		2	-	-	1,71	2,09	2,12	2,15	2,11	2,00
Розріз «Кедровський»	<i>СС</i>	1	-	2,61	2,63	2,70	2,84	2,92	3,05	2,79
		2	-	3,00	3,04	3,11	3,25	3,28	3,36	3,17

З наведених у табл. 1.4 даних видно, що при переході від грубішого класу до дрібного максимальна вологоємність підвищується внаслідок збільшення поверхні подрібненого вугілля.

У роботах [9–11] досліджували взаємозв'язок між об'ємом пір вугілля різного ступеня метаморфізму і їх максимальною вологоємністю (табл. 1.5).

Таблиця 1.5

Показники якості вугілля

Проба	$V^{daf}, \%$	$R_0, \%$	$\Sigma OK, \%$	$C^{daf}, \%$	$V_{nir}, \text{см}^3/\text{г}$	$W_{max}, \%$
A	42,4	0,62	10	81,27	0,037	4,9
B	38,0	0,65	26	81,00	0,049	5,8
C	39,5	0,64	20	81,62	0,043	5,7
D	32,2	0,99	4	87,39	0,016	2,2
E	27,2	1,10	6	88,09	0,016	2,3
F	27,7	1,19	11	87,56	0,017	1,9
G	18,4	1,53	17	89,49	0,009	1,4

Рівняння (1.7) описує взаємозв'язок між об'ємом пір і максимальною вологоємністю вугілля:

$$W_{max} = V_{nir} + 0,0015; R^2 = 0,981. \quad (1.7)$$

В осінньо-зимовий період вугілля в вагонах все частіше доставляється до місця його вивантаження в змерзлому стані [12]. У табл. 1.6 наведені значення безпечної вологості донецького кам'яного вугілля [13], при якому їх частинки не змерзнуть навіть при найнижчих температурах зовнішнього повітря.

З даних табл. 1.6 випливає, що безпечна вологість залежить як від марки вугілля, так і для більшості марок від класу крупності.

Практично завжди фактична вологість вугілля в природному стані перевищує безпечну вологість. Зниження вологості вугілля перед завантаженням до безпечної – один з основних прийомів боротьби зі змерзанням. Однак в більшості випадків знизити рівень вологості до безпечного не представляється можливим, а саме волога, що міститься у вугіллі, є першопричиною його змерзання.

Таблиця 1.6

Безпечна вологість донецького кам'яного вугілля

Марка вугілля	Клас крупності, мм	Безпечна вологість, %
<i>Д</i>	≤ 6	12,8
	6–13	14,3
<i>Г</i>	≤ 6	7,3
	6–13	8,3
<i>К</i>	≤ 3	4,6
	≤ 6	5,3
	6–13	5,7
<i>П</i>	≤ 25	4,0
<i>А</i>	≤ 6	7,2
	6–13	7,8
	13–25	10,2

В роботі [7] досліджували залежність температури змерзання вугілля марки «К»+«КЖ» ЦЗФ «Східна» від його гранулометричного складу. Досліди по змерзання вугілля проводили в металевих формах діаметром і висотою 150 мм при поступовому зниженні температури до мінус 15 °С. Зразки витримували в морозильній камері протягом двох діб. Через дві доби пробу діставали і визначали ступінь змерзання вугілля при температурах -5, -10 і -15 °С як відношення вугілля, що висипався, до загальної маси вугілля, взятого для дослідів. Результати експерименту наведені в табл. 1.7.

Температура, °C	W_t^r , %	Клас крупності (мм). %			
		≤3	3–7	7–15	>15
–5	6	80	48	20	4
	10	88	64	36	6
	12	100	80	48	20
–10	6	88	56	28	8
	10	96	76	48	16
	12	100	96	68	32
–15	6	100	81	49	36
	10	100	96	64	45
	12	100	100	88	64

У ДСТУ 7724:2015 «Вугілля кам'яне для коксування. Технічні умови» [14] наведені норми показників якості вугілля для коксування. Зокрема, в цьому документі наведене граничне значення загальної вологи для збагаченого вугілля – 10,5 % (табл. 1.8).

Зміст загальної вологи на робочий стан, W_t , %, не більше

[illegible]

1.2 Регулювання рівня вологи у вугільних шихтах

В роботі [16] наведено класифікацію вугільних шихт за показником вологості (таблиця 1.9).

Можна відзначити, що вміст вологи у вугільних концентратах, що надходять на коксохімічні підприємства, зумовлює отримання вугільних шихт середньої (6–9 %) або високої (> 9 %) вологості.

Таблиця 1.9

Класифікація вугільних шихт за показником вологості

Діапазон вологості, %	Характеристика	Спосіб досягнення
<2	Суха	Система попереднього ущільнення з сухою сепарацією і огрудкуванням (<i>DAPS</i>)
2–6	Низької вологості	Система регулювання вологості (<i>CMC</i>)
6–9	Середньої вологості	Звичайна вологість вугілля (крім сезону дощів)
>9	Високої вологості	Зволоження

Підтримувати вологість вугільної шихти на рівні, відповідному категорії шихти середньої або високої вологості, відносно нескладно. У багатьох випадках це забезпечується при різних рівнях вологості окремих компонентів вугільної шихти. Іноді, особливо в літній період, додають воду через гнучкі шланги або розпилювальні форсунки, підвищуючи рівень вологості вугільної суміші.

Для підтримки вологості на рівні, відповідному категорії сухої шихти або шихти низькій вологості, розроблені і впроваджені в існуюче виробництво спеціальні системи:

Регулювання вологості вугілля (СМС). Основні характеристики обладнання системи наведені в табл. 1.10, а технологічна схема показана на рис. 1.1.

Таблиця 1.10

Основне обладнання системи СМС

Найменування	Характеристика	Кількість
Сушарка	Барабанна сушарка непрямого нагріву	1
Теплова потужність	4,6 МВт	1
Теплоносій: температура нижча теплота згоряння	280–350 °С 16,76 МДж/м ³	
Продуктивність конвеєра для вугілля	1200 т/год 290 т/год	4 1
Продуктивність пиловловлювача з рукавними фільтрами	1165 м ³ /хв	1

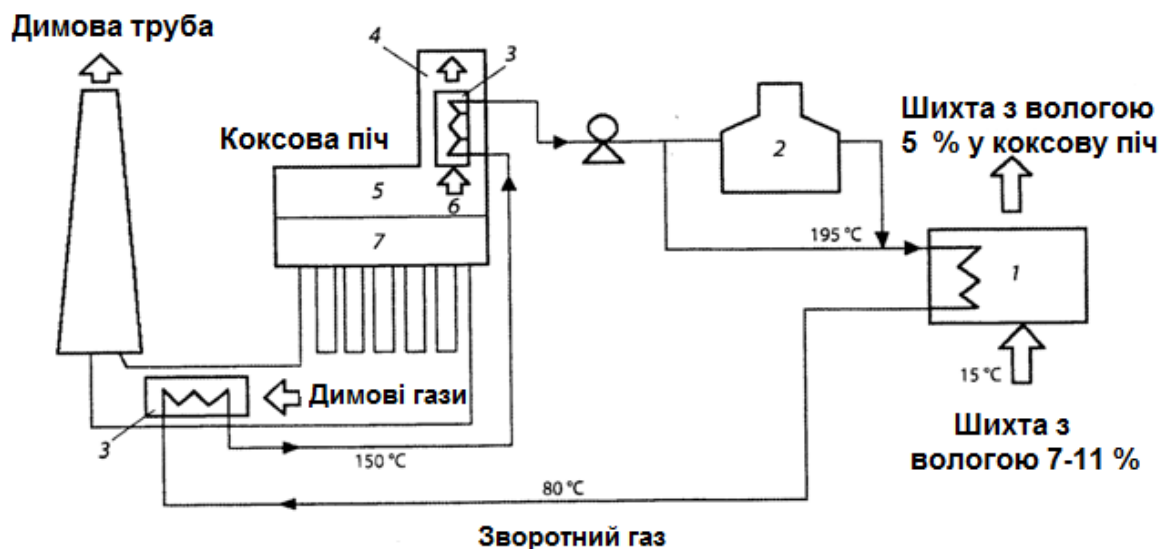


Рис. 1.1 – Технологічна схема процесу СМС регулювання вологості вугільної шихти: 1 – сушарка; 2 – піч; 3 – теплообмінник; 4 – стояк; 5 – камера коксування; 6 – коксовий газ; 7 – регенератор

Вся маса вугілля після змішування і подрібнення піддається нагріву в безперервному режимі в системі з автоматичним управлінням. Фізичне тепло (ентальпія) димових газів в системі обігріву коксових печей і газоподібних продуктів коксування, що протікають відповідно через лежачі й стоячі печей, в системі відбирають і утилізують. Так можна знизити вологість вихідного вугілля (7–11 %) до стабільного рівня 5–6 % [17].

В роботі [18] наведені результати коксування в 70 кг дослідній коксовій печі двох вугільних шихт (табл. 1.11), одна з яких було підготовлено за технологією СМС. Вугільна шихта мала наступний марочний склад, %: *Г* – 32; *Ж* – 24; *К* – 40; *П* – 4. Вологість вугільної шихти після підготовки СМС склала 6 %.

Таблиця 1.11

Показники якості вугільної шихти

Шихта	A^d , %	S_t^d , %	V^{daf} , %
Непідготовлена	8,9	0,65	27,1
З підготовкою СМС	8,9	0,68	27,3

У табл. 1.12 наведені результати випробування міцності проб коксу. В порівнянні з коксом з непідготовленої шихти кокс з підсушеної шихти (СМС) має більшу міцність, на 1,1 % підвищився індекс M_{40} і на 0,8 % знизився індекс M_{10} , що вказує на поліпшені характеристики подрібнюваності та стираності коксу за технологією СМС. Крім того, помітна тенденція до поліпшення показників реакційної здатності та післяреакційної міцності.

Таблиця 1.12

Гранулометричний склад і міцність коксу

Шихта	Гранулометричний склад (мм), %					M_{10} , %	M_{40} , %	CRI , %	CSR , %
	>60	40–60	25–40	10–25	<10	%	%	%	%
Непідготовлена	52,3	35,8	7,4	2,1	2,0	6,2	85,3	28	69
З підготовкою СМС	45,4	31,6	18,2	3,2	1,8	5,4	86,4	27	70

Необхідно відзначити, що підготовка *СМС* призводить до поліпшення показників *CRI* і *CSR* на 1 %.

Кокс, виготовлений за технологією *СМС*, порівняно з коксом з непідготовленого вугілля має менший середній діаметр пір і меншу пористість, а також більшу середню товщину стінок пір, що вказує на більш міцну пористу структуру коксу (табл. 1.13).

Таблиця 1.13

Параметри пористої структури коксу

Шихта	Середній діаметр пір, мкм	Середня товщина стінки пір, мкм	Пористість, %
Непідготовлена	234	188	56
З підготовкою <i>СМС</i>	222	194	53

Для більш глибокого уявлення про вплив підсушування вугільної шихти були проведені дослідження оптичної структури коксу. Відомо, що величина *ОТІ* характеризує ступінь анізотропії, яка обернено пропорційна реакційній здатності коксу по відношенню до CO_2 . У порівнянні з непідготовленим вугіллям (128,4) *ОТІ* коксу з шихти з *СМС* (134,43) збільшено на 6,03, тобто посилені стінки мікропор коксу підвищують здатність коксу протистояти окисненню діоксидом вуглецю.

Технологічна схема системи DAPS. Схема процесу показана на рис. 1.2.

Термічна підготовка вугільної шихти перед коксуванням. Сутність процесу термічної підготовки вугільної шихти (*ТПШ*) полягає в швидкому її нагріванні до температур 150–250 °С поза камерою коксування в умовах, що виключають окиснення вугілля. завантаженні нагрітої шихти в коксові печі та подальшому її коксуванні. В процесі термічної підготовки відбувається повне видалення зовнішньої і гігроскопічної вологи вугілля, в результаті чого відбувається збільшення насипної щільності термічно підготовленої шихти, поліпшуються її спікливі властивості і умови теплопередачі, змінюються процеси коксоутворення.

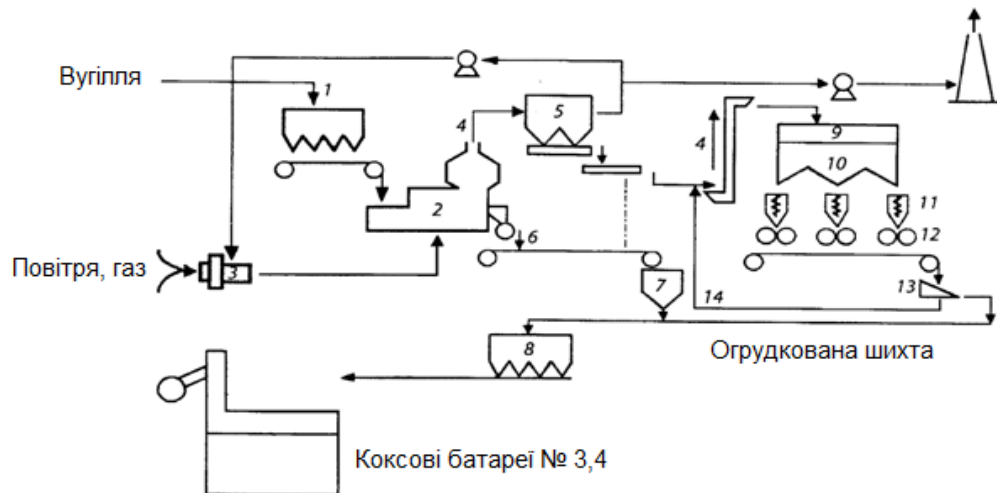


Рис. 1.2 – Технологічна схема системи *DAPS* на заводі фірми Nippon Steel: 1 – бункери для коксівного вугілля; 2 – сухий класифікатор; 3 – нагрівач для отримання гарячого повітря; 4 – пиловидне вугілля; 5 – пиловловлювач з рукавними фільтрами; 6 – грубіші класи вугілля; 7 – бункери для грубіших класів вугілля; 8 – вугільні бункери системи *DAPS*; 9 – розподільчі бункери; 10 – бункер для огрудкування; 11 – гвинтовий живник; 12 – устаткування для огрудкування; 13 – грохот; 14 – лінія повернення.

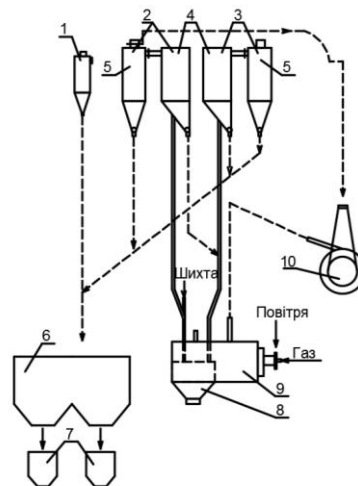


Рис. 1.3 – Принципова схема системи нагріву устаткування термічної підготовки вугільної шихти Ясинівського КХЗ

1 – дноочисний циклон; 2 – I ступінь нагріву; 3 – II ступінь нагріву; 4 – розвантажувальна камера; 5 – циклон; 6 – бункер підігрітої шихти; 7 – бункер-дозатор; 8 – бункер провалу вугілля; 9 – піч теплоносія; 10 – циркуляційний нагнітач.

В кінцевому підсумку все це дає можливість отримання доменного коксу з високими характеристиками міцності з слабоспівливих вугільних шихт з вмістом 70 % і більше малометаморфізованого вугілля [19–25]. На рис. 1.3 приведена принципова схема системи нагріву установки термічної підготовки вугільної шихти Ясинівського КХЗ.

1.3 Вплив вологи на технологічні чинники виробництва коксу

1.3.1 Насипна щільність вугільного завантаження

Насипна щільність подрібненої вугільної шихти може сильно впливати на продуктивність коксової печі і якість коксу. Вологість – один їх найбільш важливих показників, що впливає на насипну щільність вугільної шихти і визначає якість вихід готового коксу. Насипна щільність досягає максимуму у сухого вугілля і знижується до мінімуму [26, 27] в залежності від крупності при вологості в інтервалі 6–10 %, а потім знову підвищується з подальшим підвищенням вологості (рис. 1.4).

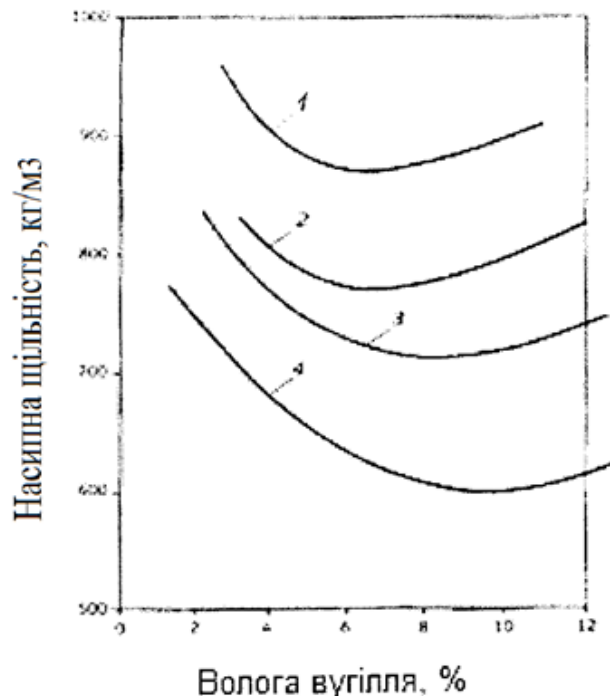


Рис. 1.4 – Вплив вологості і класу вугілля на насипну щільність: 1 – подрібнене вугілля, клас ≤ 35 мм; 2 – коксівне вугілля, клас ≤ 20 мм; 3 – вугільний дріб'язок, клас ≤ 10 мм; 4 – вугільний дріб'язок, клас ≤ 3 мм.

Графік залежності насипної щільності, яка визначається в мірній ємності, від вологи вугільної шихти, показаний на рис. 1.5 [28].

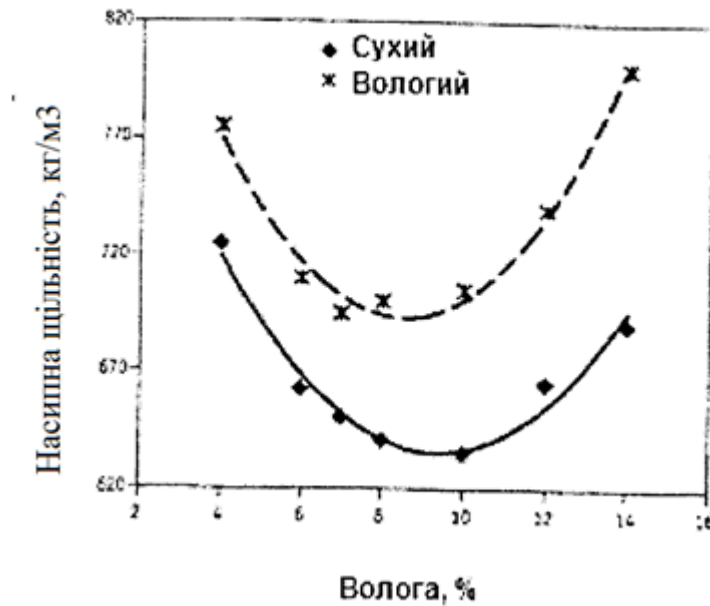


Рис. 1.5 – Вплив вологості на насипну щільність вугілля

В роботі [29] показано, що найбільш тісно насипна щільність (BD^r), корелює з показниками окиснення вугілля, Δt ($r=0,792$), вологи аналітичної, W^a ($r=0,783$), а також відношення окиснення вугілля до середнього діаметру його частинок, $\Delta t/d_s$ ($r=0,796$) і аналітичної вологи до середнього діаметру його частинок, W^a/d_s ($r=0,807$). Відповідні математичні залежності наведені нижче:

$$BD^r = 0,8511 + 0,0016\Delta t; R^2 = 0,63. \quad (1.8)$$

$$BD^r = 0,8499 + 0,0063W^a; R^2 = 0,61. \quad (1.9)$$

$$BD^r = 0,8514 + 0,0091(\Delta t/d_s); R^2 = 0,63. \quad (1.10)$$

$$BD^r = 0,8490 + 0,0432(W^a/d_s); R^2 = 0,65. \quad (1.11)$$

Можна констатувати, що найбільший вплив на насипну щільність вугілля справляє показник W^a/d_s , збільшення якого на 1 %/мм призводить до зростання BD^r на 43,2 кг/м³, причому збільшення аналітичної вологи і зниження середнього діаметра зерен (тобто збільшення поверхні) вугілля призводить до зростання насипної щільності, а зниження аналітичної вологи і збільшення середнього діаметра зерен (тобто зниження поверхні) – до зниження насипної щільності вугілля.

Через підвищення насипної щільності шихти добавкою води досягають підвищення продуктивності по шихті і легшого ходу при видачі коксу завдяки меншого спучування вугільного завантаження, але при цьому збільшується час коксування і витрата тепла на отримання готового коксу.

Показано, що окиснення вугілля супроводжується зростанням загальної та аналітичної вологи в результаті фізичної і хімічної сорбції її на поверхні вугільних частинок.

На поверхні вугільних частинок вода утворює найтоншу плівку, яка завдяки силам змочування утримує суміжні зерна ніби злиплими. У міру збільшення вологості (окиснення) вугільної маси плівка води на зернах збільшується, сила зчеплення слабшає, що дозволяє зернам рухатися вільніше і також інтенсифікується утворення водневих зв'язків за участю як молекул води, так і вугільних макромолекул [29, 30].

В роботі [31] доведено, що збільшення вмісту аналітичної вологи у вугіллі, внаслідок його окиснення, більше 4 % призводить до похибки розрахунку A^d , S_t^d , V^d і V^{daf} , що перевищує допустимі відповідними нормативними документами розбіжності між визначеннями в різних лабораторіях.

1.3.2 Подрібнюваність вугільного завантаження.

В роботі [32] показано, що підвищення вологості веде до зниження розмолоздатності вугілля однієї стадії метаморфізму. Це, в свою чергу, ускладнює досягнення однорідності подрібнення і знижує плинність вугілля.

В кінцевому підсумку це призводить до закупорки перевантажувального лотка стрічкового конвеєра при транспортуванні вугілля від молоткових дробарок до печей. Крім того, оскільки зниження вологості шихти веде до підвищення насипної щільності завантаження в пічній камері, а це значно підвищує тиск розпирання, в процесах із завантаженням підсушеної шихти абсолютно необхідно з високою точністю регулювати вологість вугілля, щоб уникнути пошкодження стін коксових печей.

1.3.3 Теплота згоряння коксового газу.

В роботі [16] показано, що при підвищенні вологості вугільної шихти до $\geq 8,5$ %, підвищується теплота згоряння (C_v) коксового газу. Графік залежності теплоти згорання від вологості вугільної шихти наведено на рис. 1.6, а його математичний опис наведено нижче:

$$C_v = 184,8 \cdot W_t^r + 2456,6; R^2 = 0,8328 \quad (1.12)$$

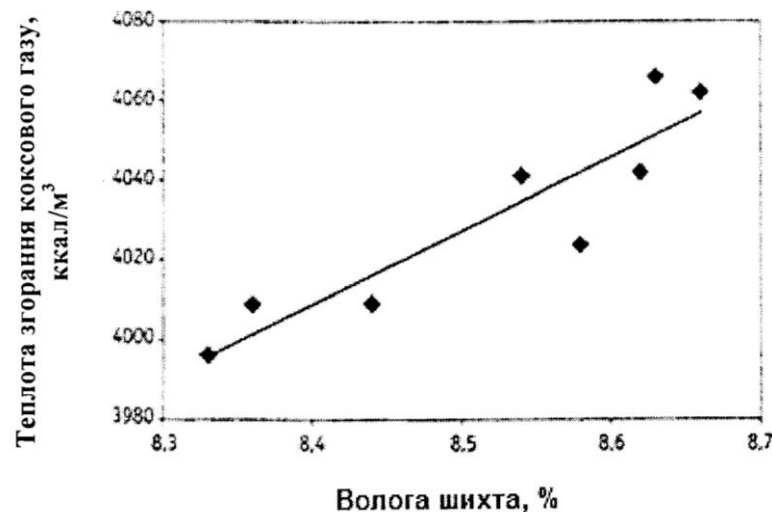


Рис. 1.6 – Залежність теплоти згорання коксового газу від вологості вугільної шихти

Показано, що в коксовому газі підвищується вміст метану (CH_4), що призводить до підвищення його теплоти згорання. Це пояснювалося тим, що пара, яка виділилась, гідратує присутні в газі молекули метану та утворює захисну оболонку навколо них і таким чином перешкоджає конверсії метану в окис вуглецю, діоксид вуглецю і водень.

1.3.4 Витрата тепла на коксування.

Відомо, що вологість шихти істотно впливає на тепловий режим коксових батарей, а також витрату тепла на коксування [33]. Підвищена вологість не тільки збільшує витрату тепла, але і сприяє утворенню більш нерівномірного по крупності коксу, зниженню механічної міцності і збільшення пористості коксу, а також призводить до зменшення терміну служби печей.

Дослідження показали, що роль вологи в процесі коксування значно більше, ніж просто нагрівання і випаровування. Волога змінює теплові властивості шихти при завантаженні – для вологого матеріалу коефіцієнт теплопровідності значно вище, ніж для сухого і води окремо.

Отримані ДП «УХІН» дані про зміну витрати тепла при збільшенні вологості завантажуваної шихти з 8 до 12 % склали: від 8 до 10 % – 33,5–38,0 кДж/кг; від 10 до 12 % – 38,0–53,0 кДж/кг відповідно.

При роботі обладнання для регулювання вологості шихти на заводі Тіба, Японія [34], було відзначено, що зниження вологості шихти до рівня 6,0 % дає ефект зниження витрати тепла на коксування ~ 310 МДж/т вугілля.

В роботі [35] показано, що при переробці 1522,9 тис.т. шихти з вологістю, зниженою з 10,7 до 9,5 %, в умовах ЗАТ «МАКІЇВКОКС» додаткова сума річного операційного прибутку складе 20226,5 тис. грн. У розрахунку на тонну доменного коксу сухої маси збільшення прибутку складе 18,76 грн.

1.3.5 Корозія металевих конструкцій установок мокрого гасіння коксу

Гасіння або охолодження коксу є обов'язковим етапом виробництва коксу і значною мірою визначає його вихід і якість. При цьому температуру коксу знижують з 1000–1100 до ~200 °С.

Вагони для гарячого коксу виготовляються з вуглецевої сталі марки Ст.3. Ця сталь недорога і має задовільні механічні властивості. Основним недоліком цієї сталі є її незадовільна корозійна стійкість, особливо в умовах

недостатнього поповнення спожитої оборотної води, що призводить до необхідності багаторазового використання підприємством стічної води з підвищеною мінералізацією. У цьому випадку швидкість корозійного зносу вагонів можна знизити шляхом вжиття відповідних заходів, які передбачають підбір марок сталі з підвищеною корозійною стійкістю та обробку оборотної води для зниження водної агресивності. Сталь *Ст.3* можна замінити жароміцними легованими сталями, які можуть працювати тривалий час при підвищених температурах без істотного погіршення механічних властивостей. До таких матеріалів відноситься легована сталь *12Х1МФ*, що використовується для виготовлення елементів парових установок, що використовуються в електростанції. Проте реальну можливість використання цієї сталі можна оцінити лише після її випробування на корозійну стійкість при охолодженні металу циркулюючими водами гасіння коксу.

В роботі [36] досліджували вплив використання води різної якості та сталей різних марок на їх корозію. В якості середовища корозії використовували зразки біохімічно обробленої води для гасіння коксу (Зразок 1) та води, обробленої циркулюючою гідроксидом натрію (Зразок 2). Дані аналізу складу води наведені в таблиці 1.14.

Таблиця 1.14

Хімічний склад біохімічно очищеної води

Показник	Масова концентрація, мг/дм ³	
	Зразок 1	Зразок 2
1	2	3
Загальний аміак	5186	1346
Леткий аміак	122,5	1140
Аміак зв'язаний	5063	206
Феноли	0,23	0,2
Сульфати	1908	1848
Сульфід	1,33	—
Кальцій	320	170

Продовження табл. 1.14

1	2	3
Роданіди	1360	1440
Ціаніди	3,1	3,1
Хлориди	10084	11208
Натрій	667,7	7241
Залізо	39,8	48,6
Сухий залишок	19935	25675

Коефіцієнт pH вихідної води становить 6,79, а для очищеної лужної води – 10,32.

В результаті виконання досліджень встановлено, що корозія нагрітої до 100 °С сталі залежить від складу біохімічно очищеної води. Маса зразків сталі *Ст.3* зменшується після охолодження у воді зразка 1, а маса зразків із сталі *12Х1МФ* збільшується, що пояснюється адгезійною поведінкою шару продуктів корозії. Маса сталевих зразків зменшується після нагрівання до 500 °С та охолодження у воді зразка 1 і має приблизно таке ж значення незалежно від марки сталі. Маса зразків сталі *Ст.3*, нагрітої до 500 °С та охолодженої в обробленій воді зразка 2, збільшується протягом перших 25 циклів, але зменшується за рахунок відділення клінкеру при збільшенні кількості циклів випробувань. Маса зразків зі сталі *12Х1МФ*, що охолоджуються у воді зразка 2, зменшується після перших 5 циклів, але втрата її маси в 7,5 раза менша, ніж у сталі *Ст.3*. Сталі, нагріті до 100 °С, охолоджені у воді зразка 1 та 2, і нагріті до 500 °С та охолоджені у воді зразка 2 відносять до класу матеріалів з низьким опором, а сталі, нагріті до 500 °С і охолоджені у воді зразка 1, відносять до нестійких матеріалів. Корозія сталі у водних розчинах зразка 1 і зразка 2 розвивається в активному стані. Абсолютні значення швидкості корозії сталі *12Х1МФ* у всіх випадках вищі, ніж у сталі *Ст.3*. Використання біохімічно очищеної води дозволяє

знизити швидкість корозії сталі *12Х1МФ* і фактично не впливає на швидкість корозії сталі *Ст.3*.

ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 1

1. Максимальна вологоємність залежить від природи вугілля, ступеня його метаморфізму, вираженого показниками виходу летких речовин, відбиття вітриніту, вмістом вуглецю і водню, а також величиною його теплоти згоряння. При переході від грубішого класу до дрібного максимальна вологоємність підвищується внаслідок зростання його питомої поверхні вугілля. При цьому, максимальна вологоємність практично не залежить від ступеня окиснення і хімічного складу золи вугілля.

2. Встановлено, що насипна щільність досягає максимуму для сухого вугілля і знижується до мінімуму в залежності від крупності при вологості 6–10 %.

3. Окиснення вугілля супроводжується зростанням загальної та аналітичної вологи в результаті фізичної і хімічної сорбції її на поверхні вугільних частинок.

4. Підвищення вологості веде до зниження розмолоздатності вугілля, що ускладнює досягнення однорідності подрібнення і знижує плинність вугілля. Наявні дані, що підвищення вологості шихти призводить до деякого підвищення теплоти згоряння коксового газу. Однак підвищена вологість не лише збільшує витрату тепла, але і сприяє утворенню більш нерівномірного по крупності коксу, зниженню його механічної міцності і збільшенню пористості, а також призводить до зменшення терміну служби печей.

5. Встановлено, що корозія різних марок сталей, що використовуються для конструкцій вагонів для гасіння доменного коксу суттєво залежить від якості води, що подається на гасіння.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДОЛОГІЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Використані методи вивчення складу та властивостей вугілля та вугільних шихт

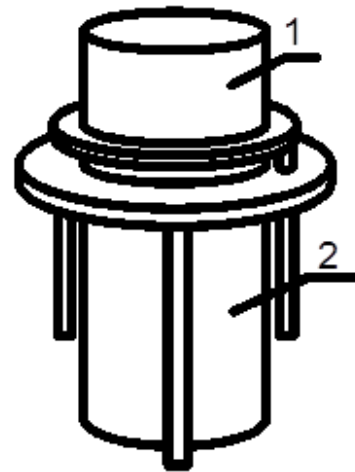
Для характеристики складу та властивостей вугілля та вугільних шихт використовували стандартизовані методи, наведені у [37–59].

2.2 Визначення насипної щільності вугільної шихти згідно ДСТУ 7123:2009 [60].

Через відсутність стандартизованих методів визначення насипної щільності вугілля та шихт в невеликих об'ємах використовували найбільш придатний з наявних метод визначення насипної щільності згідно ДСТУ 7123:2009 [60] (рис. 2.1). Ємність склянки становить $0,008 \text{ м}^3$ (діаметр – 20 см), шарнірна рамка заввишки 12 см.



а



б

Рис. 2.1 Світлина (а) і схема (б) установки для визначення насипної щільності: 1 – стакан; 2 – шарнірна рамка

Вугільну шихту засипають вільно з висоти верхнього краю шарнірної рамки до її заповнення. Обережно поворотом шарнірної рамки матеріал зрізають по краю склянки, після чого зважують з матеріалом з точністю ± 25

г. При цьому необхідно оберегати стакан від поштовхів і ударів для збереження сталого значення насипної щільності. Всього робиться п'ять визначень. Насипну щільності вугільної шихти (BD^r) в кг/м^3 , розраховують за формулою:

$$BD^r = \frac{P_1 - P_2}{V} \cdot 1000, \quad (2.1)$$

де P_1 – маса склянки з вугільної шихтою, кг;

P_2 – маса порожнього стакана, кг;

V – об'єм склянки, м^3 .

За отриманими п'ятьма значеннями розраховується середньоарифметичне значення.

2.3 Визначення насипної щільності вугілля в апараті ДП «УХІН»

Методика визначення насипної щільності вугілля в апараті ДП «УХІН» складається з визначення ваги вугілля, що скинуте зі скіпу з висоти 2000 мм у прийомному ящику з фіксованим об'ємом.

На рис. 2.2 наведено загальний вид апарата, що включає наступні вузли та механізми: 1 – ручка лебідки; 2 – лебідка; 3 – скип; 4 – каркас; 5 – жолоб для завантаження вугілля; 6 – прийомний ящик.

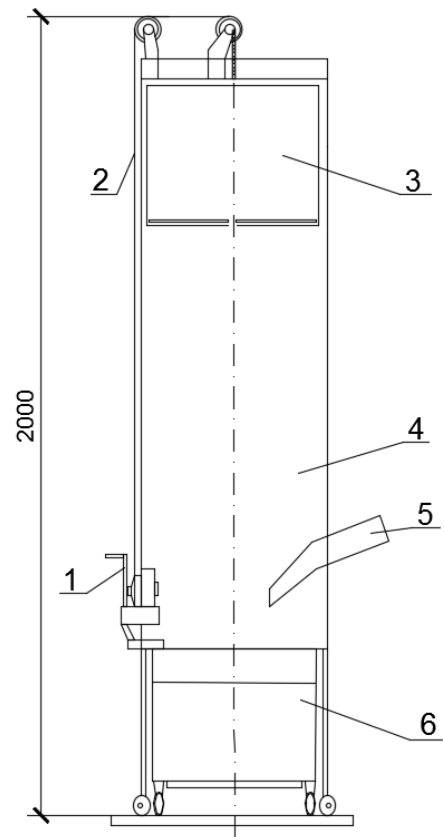
Апарат працює наступним чином. В опущений скип крізь жолоб виконується завантаження вугілля до верхнього рівня. Після цього скип за допомогою лебідки підіймається до верхнього положення. Далі виконується опорожнення скипу за допомогою спеціального механізму, а вугілля спрямовується до прийомного ящика. Після цього ящик викатується, його поверхня розрівнюється без додаткового трамбування і далі направляється на ваги. Розміри прийомного ящика: висота – 300 мм; довжина – 500 мм; ширина – 500 мм. Об'єм прийомного ящика – $0,075 \text{ м}^3$.

Насипну щільності вугілля (BD^r) в кг/м^3 , розраховують за формулою, аналогічною наведеній вище (2.1).

За отриманими трьома значеннями розраховується середньоарифметичне значення.



а



б

Рис. 2.2 Світлина (а) і схема (б) установки для визначення насипної щільності в апараті ДП «УХІН»: 1 – ручка лебідки; 2 – лебідка; 3 – скип; 4 – каркас; 5 – жолоб для завантаження вугілля; 6 – прийомний ящик.

2.4 Визначення насипної щільності вугілля в силосах дозувального відділення ПРАТ «ЗАПОРІЖКОКС»

Визначення насипної щільності вугільних концентратів в силосах дозувального відділення вуглепідготовчого цеху виконувалося наступним чином.

У силоси (рис. 2.3–2.5) дозувального відділення закачували максимально можливу кількість відповідних вугільних концентратів, після чого виконувалися виміри висоти рівня вугілля через технологічні отвори в

силосах в двох і більше точках за допомогою градуйованого шнура з вантажем (лотом). Об'єм силосів наведено у табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Об'єм силосів відділення дозування ПРАТ «ЗАПОРІЖКОКС»

Номер силосу	Об'єм, м ³		
	Циліндрична частина	Конічна частина	Загальний
1	795	293	1088
2	1080	356	1436
3	1085	352	1437
4	1107	344	1451
5	1117	340	1457
6	1011	350	1361
7	561	262	823
8	693	266	959
9	693	269	962
10	667	283	950
11	676	284	960
12	674	287	961

Скачували вугільні концентрати з силосів внаслідок дозування вугільної шихти на вугільну башту згідно з технологічним регламентом підприємства. Фіксувалася маса кожного вивантаженого концентрату.

Проводилися повторні заміри рівня вугілля в силосах після кожного скачування на вугільну башту. Закачування вугільних концентратів при цьому не виконувалося.

У кожному з досліджених силосів визначалася середня по всіх точках виміру висота вугілля до і після скачування, після чого визначалася висота

завантаженого вугілля в кожному відповідному силосі. З метою максимально точного визначення об'єму завантаженого вугілля враховували висоту вугілля лише в циліндричній частини силосу (вимірювання висоти вугілля проводилися до його переходу в конічну частину силосу). Отримане значення висоти завантаженого вугілля (h) перераховувалося на об'єм (V) за такою формулою:

$$V = \pi R^2 h, \quad (2.2)$$

де π – математична константа (3,14), що дорівнює відношення довжини кола окружності до її діаметру;

R – радіус циліндру, м;

h – висота циліндру, м.

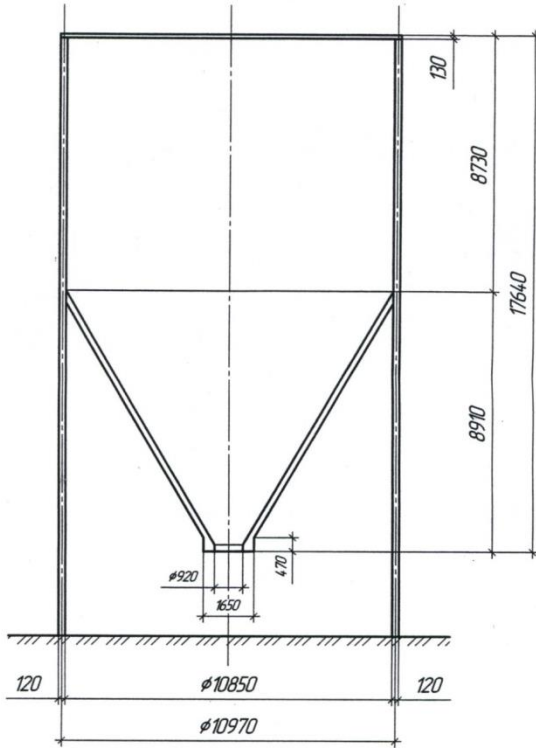
Насипна щільності вугілля в силосі визначалася діленням зафіксованого значення завантаженої маси вугілля на відповідний розрахований скачаний об'єм.

$$BD^r = \frac{M}{V}, \quad (2.3)$$

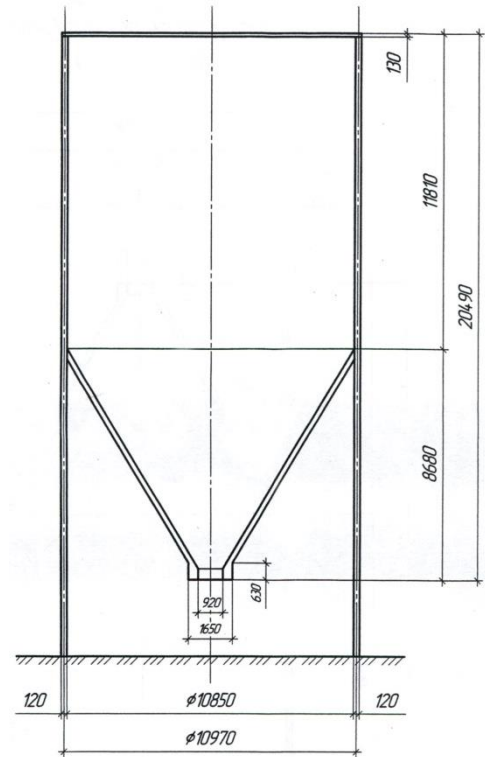
де M – маса вугілля в силосі, т;

BD^r – насипна щільність вугілля, т/м³;

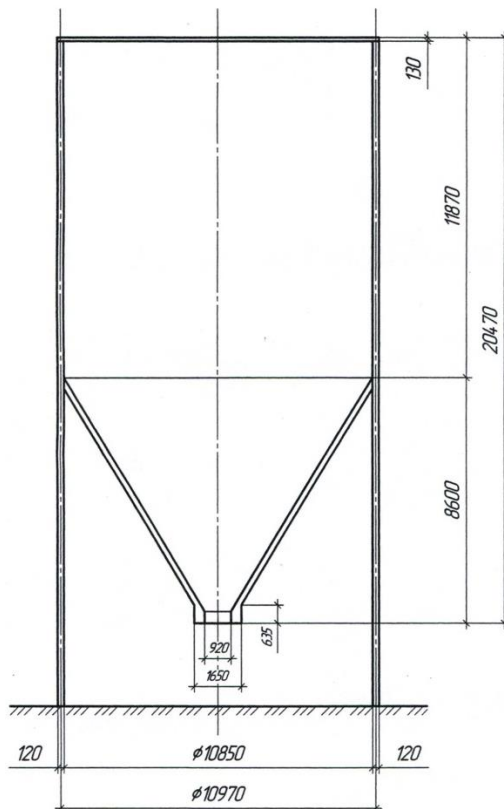
V – об'єм вугілля, м³.



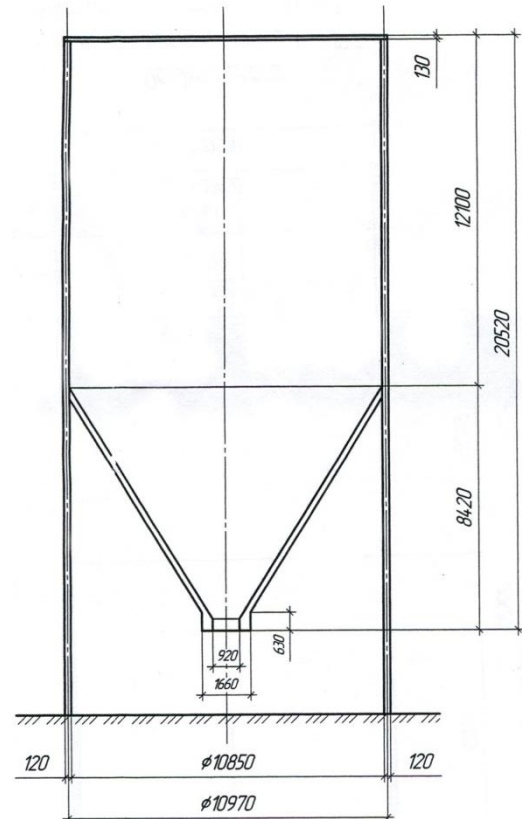
Силос №1



Силос №2



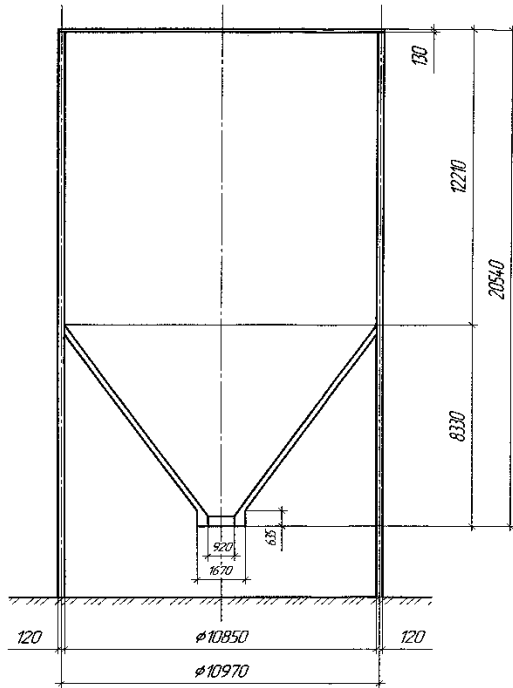
Силос №3



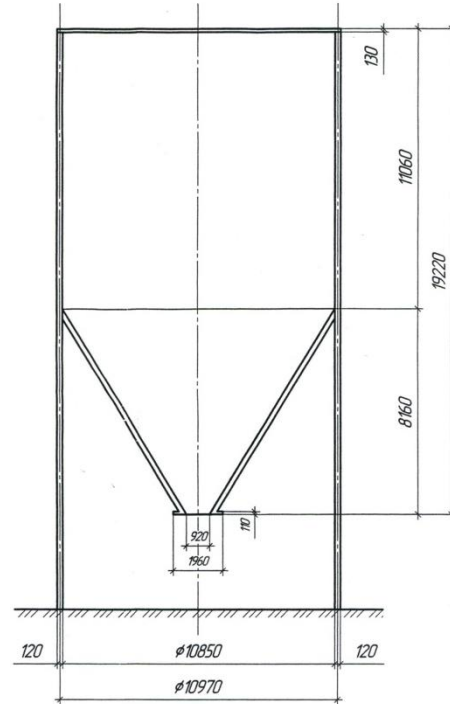
Силос №4

Рис. 2.3 Розміри силосів №1–4 дозувального відділення

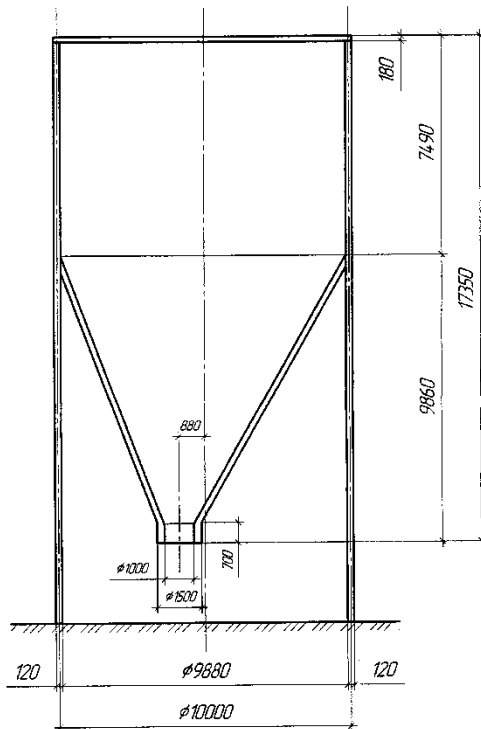
ПРАТ «ЗАПОРІЖКОКС»



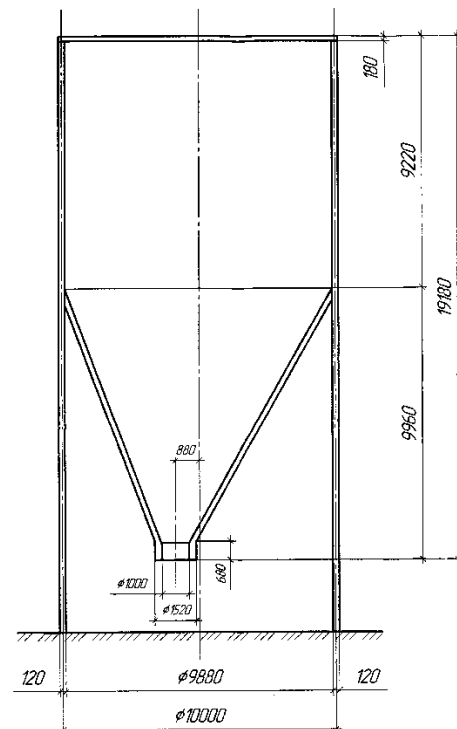
Силос №5



Силос №6

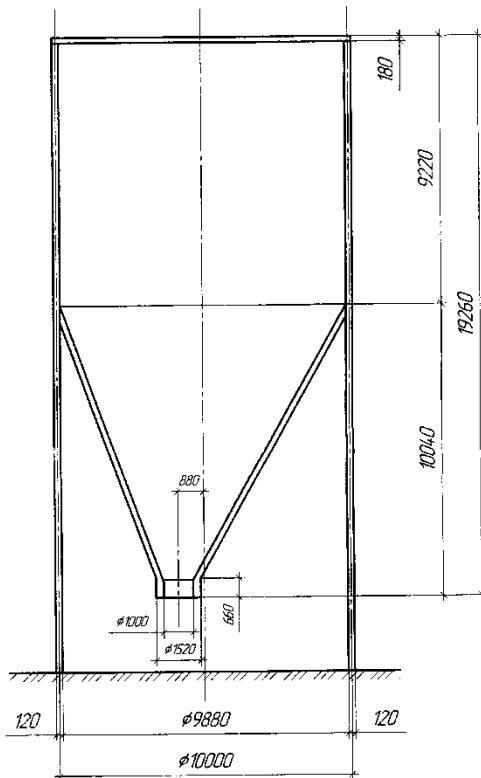


Силос №7

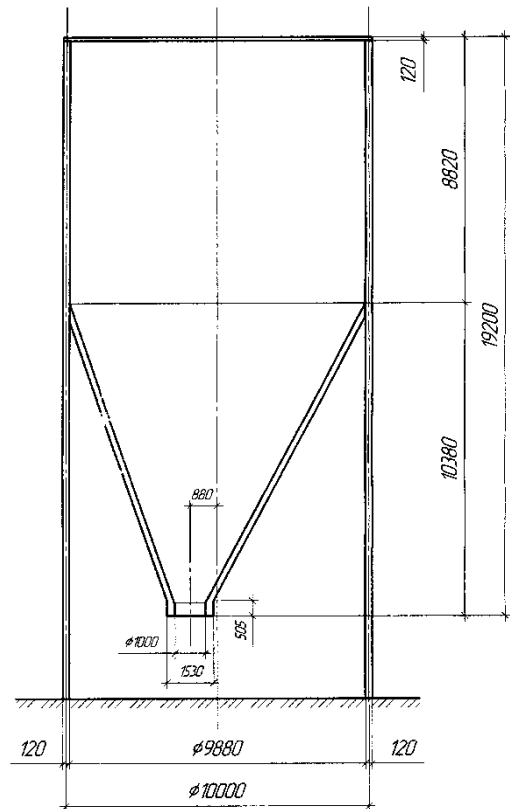


Силос №8

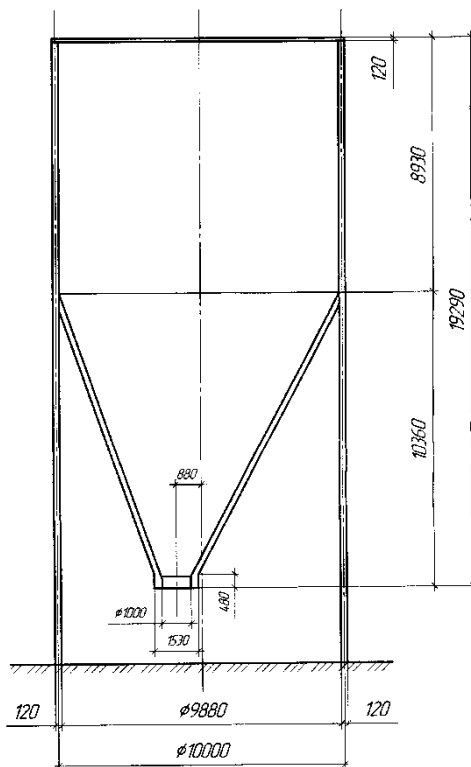
Рис. 2.4 Розміри силосів №5–8 дозувального відділення
ПРАТ «ЗАПОРІЖКОКС»



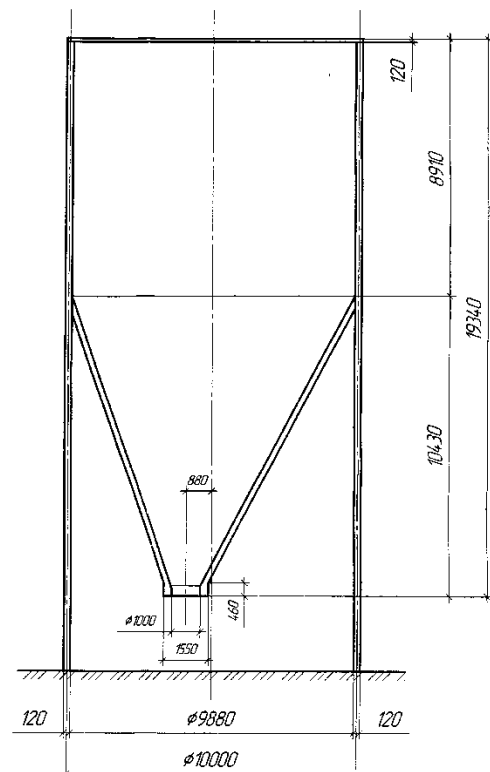
Силос №9



Силос №10



СИЛОС №11



Силос №12

Рис. 2.5 Розміри силосів №9–12 дозувального відділення
ПРАТ «ЗАПОРІЖКОКС»

2.5 Методика визначення оптимальних кутів нахилу жолобів трактів шихтоподачі

Шихти готувалися за схемою *ДШ* (дроблення шихти) до необхідної крупності. Скидання вугільної шихти виконувалось з висоти $\sim 0,5$ (1,5) м на лист, виготовлений з *Ст.3*, на відстані $\sim 0,5$ м від його вершини. Фіксувався момент зіткнення шихти з поверхнею металу і момент зіткнення шихти з поверхнею підлоги. Розраховувалася тривалість (τ) руху шихти по листу металу, с.

Дослідна установка для проведення досліджень з визначення сипкості шихти наведена на рис. 2.6.



Рис. 2.6 – Світлина дослідної установки для проведення досліджень з визначення сипкості шихти

Порядок виконання досліджень був наступний:

1. Складався варіант 1 вугільної шихти масою 100 кг (імітація продуктивності, що дорівнює 350 т/год), вміст класу 0–3 мм дорівнював 90 % ($\Sigma 3-0=90\%$), $W_t=10\%$. Кут нахилу становив 65° . Проводилося скидання

шихти протягом ~ 1 с. Від складеної шихти відбиралася проба масою 70 кг (імітація навантаження, що дорівнює 250 т/год). Експерименти з двома рівнями навантаження повторювалися при 70, 75 і 80 °.

2. Складався варіант 2 вугільної шихти масою 100 кг, $\Sigma 3-0=90$ %, $W_t=10$ %. Експерименти з двома рівнями навантаження повторювалися при 65, 70, 75 і 80 °.

3. Варіант шихти 1 і 2, $\Sigma 3-0 = 90\%$, $W_t=11$ %. Експерименти з двома рівнями навантаження повторювалися при 65, 70, 75 і 80 °.

4. Варіант шихти 1 і 2, $\Sigma 3-0=90$ %, $W_t=12$ %. Експерименти з двома рівнями навантаження повторювалися при 65, 70, 75 і 80 °.

5. Варіант шихти 1 і 2, $\Sigma 3-0=94$ %, $W_t=10$ %. Експерименти з двома рівнями навантаження повторювалися при 65, 70, 75 і 80 °.

6. Варіант шихти 1 і 2, $\Sigma 3-0=94$ %, $W_t=11$ %. Експерименти з двома рівнями навантаження повторювалися при 65, 70, 75 і 80 °.

7. Варіант шихти 1 і 2, $\Sigma 3-0=94$ %, $W_t=12$ %. Експерименти з двома рівнями навантаження повторювалися при 65, 70, 75 і 80 °.

ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 2

1. Охарактеризовано необхідний і достатній набір інструментальних, переважно, стандартизованих методів дослідження складу і властивостей вугілля та вугільних шихт.

2. Розглянуті основні методи оцінки властивостей вугілля та вугільних шихт, використані в дисертаційній роботі, зокрема, визначення насипної щільності у апаратах різного об'єму.

3. Розроблено, виготовлено та освоєно унікальне обладнання для визначення оптимальних кутів нахилу жолобів, виготовлених зі *Ст.3*, вугільного тракту шихтоподачі для транспортування вугільної шихти змінних вологості, гранулометричного та компонентного складів зі різної продуктивності.

РОЗДІЛ 3

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ВОЛОГИ НА НАСИПНУ ЩІЛЬНІСТЬ ВУГІЛЬНИХ КОНЦЕНТРАТІВ ТА ВУГІЛЬНИХ ШИХТ

Згідно ГОСТ 17070–2014 (ISO 1213–2:1992, NEQ) «Вугілля. Терміни та визначення» насипна щільність – відношення маси свіжонасипаного вугілля к його об'єму, визначеному у встановлених умовах заповнення ємності.

Насипна щільність вугілля – величина відносна. Це виражається в тому, що результат визначення залежить від умов проведення випробування, від конструкції і розмірів апаратури, яким чином буде завантажуватися вугілля тощо.

При однакових умовах проведення випробування величина насипної щільності вугілля залежить від вологості, гранулометричного складу, дійсної і уявної щільності [61, 62].

Залежно від цих чинників насипна щільність вугілля змінюється у відносно широких межах.

Визначення насипної щільності вугільного завантаження необхідно для розрахунку роботи коксових печей. Відомо, що насипна щільність вугільного завантаження впливає на продуктивність коксових печей і на фізико-хімічні властивості коксу.

3.1 Вплив вологи на насипну щільність вугільних концентратів

Згідно ДСТУ 4096–2002 «Методи відбору та підготовки проб до лабораторних випробувань», були відібрані вугільні концентрати, що входять в сировинну базу коксування ПрАТ «ЗАПОРІЖКОКС». Відібрані вугільні концентрати були досліджені за такими параметрами: технічний аналіз (W^r_t , W^a , A^d , S^d_t , V^{daf}), пластометричний аналіз (x , y), петрографічний аналіз (R_0 , V_t , S_v , I , L , ΣOK , рефлектограма вітриніту), ситовий аналіз (>10 ; $6-10$; $3-6$; $1-3$; $0,5-1$, $<0,5$ мм), показник окиснення (Δt). Результати досліджень наведені в табл.3.1–3.3.

Таблиця 3.1

Технологічні властивості вугільних концентратів

№	Постачальник	Марка	Технічний аналіз, %					Пластометричні показники, мм	
			W^r_t	W^a	A^d	S^d_t	V^{daf}	x	y
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	ЗФ «Щедрухінська»	<i>Г</i>	13,3	4,2	7,7	0,57	38,0	39	13
2	ЗФ «Талдинська», зразок №1	<i>Г</i>	14,4	2,0	8,8	0,50	38,5	35	14
3	ЗФ «Талдинська», зразок №2	<i>Г</i>	13,0	3,6	8,6	0,60	37,9	30	12
4	ЗФ «Тайбінська», зразок №3	<i>Г</i>	12,2	3,4	9,3	0,63	35,0	38	10
5	ЦЗФ «Добропільська»	<i>Г</i>	11,9	2,6	7,3	1,17	36,3	33	12
6	Ш. «Прокоп'євська»	<i>Г</i>	9,6	2,5	7,9	0,52	40,0	31	12
7	ЗФ «Печорська»	<i>ГЖП</i>	7,6	3,3	7,8	1,02	37,1	27	13
8	ТОВ «Промвугіллясервіс»	<i>ГЖП</i>	9,1	4,0	8,4	0,63	36,4	28	10
9	ЗФ «Абашевська»	<i>ГЖ</i>	10,8	1,9	8,2	0,60	36,4	28	18
10	Carter Roag, зразок №1	<i>Ж</i>	14,1	0,7	9,4	0,85	33,1	28	19
11	Carter Roag, зразок №2	<i>Ж</i>	8,9	1,4	9,5	0,92	33,6	19	22
12	Carter Roag, зразок №3	<i>Ж</i>	7,4	1,2	8,6	1,03	33,5	20	19
13	Wellmore	<i>Ж</i>	8,2	1,5	8,6	1,04	32,1	20	22
14	ЦЗФ «Дуванська», зразок №1	<i>Ж</i>	13,2	1,0	8,2	1,40	33,3	16	23
15	ЦЗФ «Дуванська», зразок №2	<i>Ж</i>	10,3	1,7	7,5	1,03	32,2	15	20
16	ЗФ «Новокузнецька»	<i>Ж</i>	10,4	1,7	8,6	0,69	34,8	13	22

Продовження табл. 3.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
17	Toms Creek	<i>Ж</i>	9,5	2,0	7,8	0,72	33,3	19	20
18	Rockleak	<i>Ж</i>	7,3	2,0	7,4	0,89	34,1	23	19
19	ЗФ «Печорська»	<i>2Ж</i>	9,5	1,8	9,5	0,70	33,4	14	22
20	Оаку North, зразок №1	<i>КЖ</i>	12,1	0,7	9,5	0,52	26,4	13	19
21	Оаку North, зразок №2	<i>КЖ</i>	9,9	1,4	9,5	0,69	27,2	8	19
22	ЦЗФ «Абашевська»	<i>ГЖ+Ж</i>	7,9	2,0	10,1	0,61	37,3	32	16
23	Teck Premium	<i>К+КП</i>	8,3	1,3	8,7	0,62	25,8	17	17
24	Розріз «Бочатський»	<i>КП</i>	10,6	1,3	8,3	0,41	24,4	22	10
25	ЗФ «Свято-Варваринська», зразок №1	<i>К</i>	11,5	1,9	8,2	0,63	27,1	11	14
26	ЗФ «Свято-Варваринська», зразок №2	<i>К</i>	8,5	1,4	9,2	0,78	27,2	7	16
27	ЗФ «Свято-Варваринська», зразок №3	<i>К</i>	9,3	1,4	8,4	0,75	27,6	13	14
28	ЦЗФ «Самсонівська», зразок №1	<i>К</i>	14,0	0,6	9,4	1,31	27,5	14	19
29	ЦЗФ «Самсонівська», зразок №2	<i>К</i>	10,9	1,3	10,7	1,37	29,0	12	19
30	ЦЗФ «Самсонівська», зразок №3	<i>К</i>	11,1	1,0	9,0	1,51	29,1	15	21
31	ЗФ «Північна», зразок №1	<i>К</i>	11,6	1,3	9,0	0,74	26,1	19	19
32	ЗФ «Північна», зразок №2	<i>К</i>	8,6	0,9	9,2	0,77	25,8	18	18
33	Pocahontas, зразок №1	<i>ПС</i>	10,0	1,0	8,5	0,71	17,0	9	12
34	Pocahontas, зразок №2	<i>ПС</i>	7,8	1,0	8,7	0,87	18,7	5	12
	Мінімальне значення		7,3	0,6	6,8	0,41	17,0	5	10
	Максимальне значення		14,4	4,2	10,7	1,51	40,0	39	23

Петрографічна характеристика вугільних концентратів

№	Постачальник	Марка	Петрографічний склад (без мінеральних домішок),%					Середній показник відбиття вітриніту, %	Стадії метаморфізму вітриніту, %						
			Vt	Sv	I	L	ΣOK		<0,50	0,50 – 0,64	0,65 – 0,89	0,90 – 1,19	1,20 – 1,39	1,40 – 1,69	1,70 – 2,59
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	ЗФ «Щедрухінська»	Г	78	0	20	2	20	0,66	0	52	48	0	0	0	0
2	ЗФ «Талдинська», зразок №1	Г	78	0	20	2	20	0,62	2	68	30	0	0	0	0
3	ЗФ «Талдинська», зразок №2	Г	71	1	25	3	26	0,65	1	47	52	0	0	0	0
4	ЗФ «Тайбінська», зразок №3	Г	65	0	33	2	33	0,69	2	30	68	0	0	0	0
5	ЦЗФ «Добропільська»	Г	65	1	27	7	28	0,74	0	11	89	0	0	0	0
6	Ш. «Прокоп'євська»	Г	88	0	11	1	11	0,65	3	55	39	3	0	0	0
7	ЗФ «Печорська»	ГЖП	72	0	26	2	26	0,71	0	21	76	3	0	0	0
8	ТОВ «Промвугіллясервіс»	ГЖП	73	0	26	1	26	0,68	0	28	72	0	0	0	0
9	ЗФ «Абашевська»	ГЖ	89	0	10	1	10	0,82	0	3	85	12	0	0	0
10	Carter Roag, зразок №1	Ж	76	0	20	4	20	0,91	0	0	47	53	0	0	0
11	Carter Roag, зразок №2	Ж	73	0	23	4	23	0,96	0	0	20	78	2	0	0
12	Carter Roag, зразок №3	Ж	72	0	23	5	23	0,94	0	0	30	70	0	0	0

Продовження табл. 3.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
13	Wellmore	<i>Ж</i>	81	0	16	3	16	0,98	0	0	19	77	4	0	0
14	ЦЗФ «Дуванська», зразок №1	<i>Ж</i>	90	0	7	3	7	0,98	0	0	7	93	0	0	0
15	ЦЗФ «Дуванська», зразок №2	<i>Ж</i>	92	1	3	4	4	0,99	0	0	12	88	0	0	0
16	ЗФ «Новокузнецька»	<i>Ж</i>	89	1	9	1	10	0,88	0	2	52	46	0	0	0
17	Toms Creek	<i>Ж</i>	85	0	13	2	13	0,94	0	1	22	75	2	0	0
18	Rockleak	<i>Ж</i>	82	0	15	3	15	0,93	0	7	27	65	1	0	0
19	ЗФ «Печорська»	<i>2Ж</i>	75	1	22	2	23	0,95	0	0	19	81	0	0	0
20	Оаку North, зразок №1	<i>КЖ</i>	89	0	11	0	11	1,13	0	0	0	80	20	0	0
21	Оаку North, зразок №2	<i>КЖ</i>	87	2	11	0	13	1,14	0	0	0	76	24	0	0
22	ЦЗФ «Абашевська»	<i>ГЖ+Ж</i>	89	0	11	0	11	0,76	0	10	88	2	0	0	0
23	Teck Premium	<i>К+КП</i>	70	0	30	0	30	1,09	0	0	0	93	7	0	0
24	Розріз «Бочатський»	<i>КП</i>	49	1	49	1	50	1,07	0	0	1	95	4	0	0
25	ЗФ «Свято-Варваринська», зразок №1	<i>К</i>	88	0	11	1	11	1,14	0	0	0	80	20	0	0
26	ЗФ «Свято-Варваринська», зразок №2	<i>К</i>	87	1	10	2	11	1,19	0	0	0	53	45	2	0
27	ЗФ «Свято-Варваринська», зразок №3	<i>К</i>	84	1	12	3	13	1,13	0	3	6	57	34	0	0

Продовження табл. 3.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
28	ЦЗФ «Самсонівська», зразок №1	<i>K</i>	91	0	8	1	8	1,13	0	0	7	54	39	0	0
29	ЦЗФ «Самсонівська», зразок №2	<i>K</i>	93	1	5	1	6	1,10	0	0	26	30	44	0	0
30	ЦЗФ «Самсонівська», зразок №3	<i>K</i>	92	0	7	1	7	1,11	0	0	18	36	46	0	0
31	ЗФ «Північна», зразок №1	<i>K</i>	56	1	43	0	44	1,10	0	0	3	77	18	2	0
32	ЗФ «Північна», зразок №2	<i>K</i>	62	1	36	1	37	1,09	0	1	10	68	13	8	0
33	Росаhontas, зразок №1	<i>ПС</i>	77	0	23	0	23	1,48	0	0	0	0	13	86	1
34	Росаhontas, зразок №2	<i>ПС</i>	82	1	17	0	18	1,55	0	0	0	0	8	86	6
	Мінімальне значення		56	0	3	0	4	0,62	0	0	0	0	0	0	0
	Максимальне значення		93	2	43	7	44	1,55	3	68	89	93	46	86	6

Гранулометричний склад і насипна густина вугільних концентратів

№	Постачальник	Марка	Гранулометричний склад (мм), %							Середній діаметр частинок, мм	Показник окиснення, °С
			>10	6–10	3–6	1–3	0,5–1	<0,5	<3		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	ЗФ «Щедрухінська»	Г	28,1	14,4	15,0	1,0	7,3	16,3	24,6	5,67	1,8
2	ЗФ «Талдинська», зразок №1	Г	31,7	11,5	12,5	1,8	8,0	19,3	29,1	5,73	1,0
3	ЗФ «Талдинська», зразок №2	Г	36,3	6,6	16,7	23,5	7,2	9,7	40,4	6,18	2,3
4	ЗФ «Тайбінська», зразок №3	Г	28,0	3,8	19,5	29,0	8,5	11,2	48,7	5,21	4,7
5	ЦЗФ «Добропільська»	Г	33,9	6,7	16,5	22,4	8,4	12,1	42,9	5,89	1,0
6	Ш. «Прокоп'євська»	Г	17,3	11,7	18,8	27,7	8,5	16,0	52,2	4,52	1,0
7	ЗФ «Печорська»	ГЖП	20,0	2,0	8,3	20,1	18,3	31,3	69,7	3,55	5,0
8	ТОВ «Промвугіллясервіс»	ГЖП	15,5	10,5	18,6	28,5	9,2	17,7	55,4	4,22	2,5
9	ЗФ «Абашевська»	ГЖ	5,6	6,4	13,7	32,1	15,0	27,2	74,3	2,62	2,3
10	Carter Roag, зразок №1	Ж	20,2	10,8	13,7	1,7	9,7	23,7	35,1	4,47	1,8
11	Carter Roag, зразок №2	Ж	16,4	5,5	16,1	28,0	12,1	21,9	62	3,84	1,5
12	Carter Roag, зразок №3	Ж	13,6	9,9	15,2	25,4	10,2	25,7	61,3	3,76	1,7
13	Wellmore	Ж	26,5	5,3	16,0	26,9	10,6	14,7	52,2	4,98	1,5
14	ЦЗФ «Дуванська», зразок №1	Ж	12,9	7,4	12,0	1,0	13,2	28,2	42,4	3,38	1,7
15	ЦЗФ «Дуванська», зразок №2	Ж	12,7	3,7	17,8	32,5	14,7	18,6	65,8	3,43	2,1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
16	ЗФ «Новокузнецька»	<i>Ж</i>	2,1	5,2	12,9	29,8	15,6	34,4	79,8	2,05	1,5
17	Toms Creek	<i>Ж</i>	3,0	4,7	10,8	32,5	16,1	32,9	81,5	2,08	3,7
18	Rockleak	<i>Ж</i>	14,4	9,3	14,0	26,4	9,5	26,4	62,3	3,77	4,2
19	ЗФ «Печорська»	<i>2Ж</i>	10,2	1,8	7,8	22,5	18,6	39,1	80,2	2,41	2,0
20	Оаку North, зразок №1	<i>КЖ</i>	9,1	6,0	9,0	1,8	14,6	36,7	53,1	2,67	1,0
21	Оаку North, зразок №2	<i>КЖ</i>	9,5	3,9	13,0	29,7	18,4	25,5	73,6	2,83	1,3
22	ЦЗФ «Абашевська»	<i>ГЖ+Ж</i>	18,1	9,2	15,9	26,4	10,4	20,0	56,8	4,28	2,3
23	Teck Premium	<i>К+КП</i>	9,3	5,4	9,2	20,3	9,8	46,0	76,1	2,56	3,2
24	Розріз «Бочатський»	<i>КП</i>	7,5	7,0	12,4	25,5	11,8	35,8	73,1	2,71	5,0
25	ЗФ «Свято-Варваринська», зразок №1	<i>К</i>	15,1	9,5	13,4	1,3	11,0	28,8	41,1	3,77	1,0
26	ЗФ «Свято-Варваринська», зразок №2	<i>К</i>	20,4	4,3	17,2	20,4	11,6	26,1	58,1	4,13	1,5
27	ЗФ «Свято-Варваринська», зразок №3	<i>К</i>	7,9	7,2	13,0	27,3	11,9	32,7	71,9	2,83	2,0
28	ЦЗФ «Самсонівська», зразок №1	<i>К</i>	8,1	4,6	8,6	1,0	17,2	40,2	58,4	2,38	1,8
29	ЦЗФ «Самсонівська», зразок №2	<i>К</i>	15,4	2,8	10,6	23,6	17,2	30,4	71,2	3,23	2,0
30	ЦЗФ «Самсонівська», зразок №3	<i>К</i>	27,3	15,0	13,2	12,2	7,7	24,6	44,5	5,43	3,5
31	ЗФ «Північна», зразок №1	<i>К</i>	2,9	4,9	10,6	25,6	12,9	43,1	81,6	1,93	1,3
32	ЗФ «Північна», зразок №2	<i>К</i>	12,6	8,3	13,2	24,2	10,3	31,4	65,9	3,41	2,6
33	Pocahontas, зразок №1	<i>ПС</i>	7,0	7,2	11,3	25,2	13,9	35,4	74,5	2,62	2,0
34	Pocahontas, зразок №2	<i>ПС</i>	10,3	7,4	11,8	24,4	12,1	34,0	70,5	3,02	1,0

Закінчення табл. 3.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Мінімальне значення		2,1	1,8	7,8	1,0	7,2	9,7	24,6	1,93	1,0
	Максимальне значення		36,3	15,0	19,5	32,5	18,6	46,0	81,6	6,18	5,0

Аналізуючи отримані дані, можна констатувати, що досліджена вибірка включає вугілля практично всього ряду метаморфізму і представлене марками від «Г» до «ПС», а значення показників його властивостей коливається в досить широкому діапазоні.

У таблиці 3.3, крім даних ситового аналізу, наведені розрахункові значення вмісту класу <3 мм у зразках вугілля і величини середнього діаметру його частинок.

Аналізуючи дані, наведені в табл. 3.1–3.3, можна констатувати наступне.

Вугілля газової групи (ЗФ «Щедрухінська», ЗФ «Талдинська, ЗФ «Тайбінська», ЦЗФ «Добропільська», ш. «Прокоп'євська») характеризується підвищеним вмістом летких речовин (35,0–40,0 %) при невисоких значеннях окиснення (1,0–4,7 °С). Вміст фюзенізованих компонентів становить 20–33 %, а вітриніт переважно відповідає вугіллю газової стадії метаморфізму (65–88 %).

Вугілля жирної групи (Carter Roag, Wellmore, ЦЗФ «Дуванська», ЦЗФ «Новокузнецька», Toms Creek, Rockleak, ЦЗФ «Печорська»), в порівнянні з вугіллям газової групи характеризується більш низькими значеннями виходу летких речовин (32,1–38,8 %). Вміст фюзенізованих компонентів становить 4–23 %, а складові вітриніту переважно відповідають жирній стадії метаморфізму (72–92 %).

Вугілля коксової групи (ЗФ «Свято-Варваринська», ЦЗФ «Самсонівська», ЗФ «Північна») характеризується виходом летких речовин на рівні 25,8–29,1 %. Вміст фюзенізованих компонентів доходить до 44 %. Аналізуючи рефлектограму вітриніту, можна констатувати, що, в цьому вугіллі вона складається з жирної і коксової стадій метаморфізму.

Вугілля марки «ПС» (Pocahontas) характеризується найменшим значенням виходу летких речовин (17,0 %), найбільшим значенням показника відбиття вітриніту (1,55 %). Вміст фюзенізованих компонентів

становить 23 %, а рефлектограма вітриніту сконцентрована в стадії вугілля марки «ПС».

Наведені в табл. 3.3 результати ситового аналізу відібраних вугільних концентратів свідчать, що вони характеризуються різним ступенем подрібнення.

Вугілля таких постачальників, як ЗФ «Щедрухінська», ЗФ «Талдинська», характеризується зниженим вмістом класу <3 мм (24,6–29,1 %). Вугілля ЗФ «Новокузнецька», Toms Creek, ЗФ «Печорська», ЗФ «Північна» характеризується підвищеним вмістом класу <3 мм (79,8–81,6 %). Решта вугілля займає проміжне положення.

Виконані дослідження довели відсутність окисненого вугілля ($\Delta t < 6^\circ\text{C}$) у виборці.

У таблиці 3.4 наведені дані, що стосуються визначення насипної щільності вугільних концентратів в апарату ДП «УХІН» і в силосах дозувального відділення ПРАТ «ЗАПОРІЖКОКС».

Інтервал значень насипної щільності (середні значення), визначеної в апараті ДП «УХІН», коливався від 826 до 923 кг/м^3 , а в силосах дозувального відділення – від 832 до 973 кг/м^3 .

На рис. 3.1 і 3.2 приведені графічні залежності впливу вологості на насипну щільність вугільних концентратів, визначену як в апарату ДП «УХІН», так і в силосах дозувального відділення ВПЦ ПРАТ «ЗАПОРІЖКОКС».

У табл. 3.5 наведені математичні рівняння прогнозу насипної щільності вугілля за величиною їх робочої вологи.

Виходячи з наведених графічних і математичних залежностей, можна стверджувати, що при збільшенні вологості вугільних концентратів на 1 %, їх насипна щільність зростає на 5,7–11,1 кг/м^3 в залежності від способу її вимірювання.

Насипна щільність вугільних концентратів

№	Постачальник	Марка	Насипна щільність, кг/м ³	
			Апарат ДП «УХІН», BD_{an}^r	Силос, $BD_{сил}^r$
1	2	3	4	5
1	ЗФ «Щедрухінська»	<i>Г</i>	923	973
2	ЗФ «Талдинська», зразок №1	<i>Г</i>	895	929
3	ЗФ «Талдинська», зразок №2	<i>Г</i>	896	894
4	ЗФ «Тайбінська», зразок №3	<i>Г</i>	892	888
5	ЦЗФ «Добропільська»	<i>Г</i>	882	873
6	Ш. «Прокоп'євська»	<i>Г</i>	868	860
7	ЗФ «Печорська»	<i>ГЖП</i>	847	848
8	ТОВ «Промвугіллясервіс»	<i>ГЖП</i>	840	843
9	ЗФ «Абашевська»	<i>ГЖ</i>	875	876
10	Carter Roag, зразок №1	<i>Ж</i>	888	919
11	Carter Roag, зразок №2	<i>Ж</i>	868	858
12	Carter Roag, зразок №3	<i>Ж</i>	868	868
13	Wellmore	<i>Ж</i>	868	873
14	ЦЗФ «Дуванська», зразок №1	<i>Ж</i>	854	883
15	ЦЗФ «Дуванська», зразок №2	<i>Ж</i>	851	854
16	ЗФ «Новокузнецька»	<i>Ж</i>	896	885
17	Toms Creek	<i>Ж</i>	826	832

1	2	3	4	5
18	Rockleak	<i>Ж</i>	840	832
19	ЗФ «Печорська»	<i>2Ж</i>	833	848
20	Оаку North, зразок №1	<i>КЖ</i>	868	896
21	Оаку North, зразок №2	<i>КЖ</i>	872	864
22	ЦЗФ «Абашевська»	<i>ГЖ+Ж</i>	854	855
23	Teck Premium	<i>К+КП</i>	850	857
24	Розріз «Бочатський»	<i>КП</i>	861	861
25	ЗФ «Свято-Варваринська», зразок №1	<i>К</i>	910	951
26	ЗФ «Свято-Варваринська», зразок №2	<i>К</i>	889	875
27	ЗФ «Свято-Варваринська», зразок №3	<i>К</i>	875	860
28	ЦЗФ «Самсонівська», зразок №1	<i>К</i>	896	930
29	ЦЗФ «Самсонівська», зразок №2	<i>К</i>	882	871
30	ЦЗФ «Самсонівська», зразок №3	<i>К</i>	903	937
31	ЗФ «Північна», зразок №1	<i>К</i>	843	843
32	ЗФ «Північна», зразок №2	<i>К</i>	875	876
33	Росаhontas, зразок №1	<i>ПС</i>	854	883
34	Росаhontas, зразок №2	<i>ПС</i>	889	871
	Мінімальне значення		826	832
	Максимальне значення		923	973

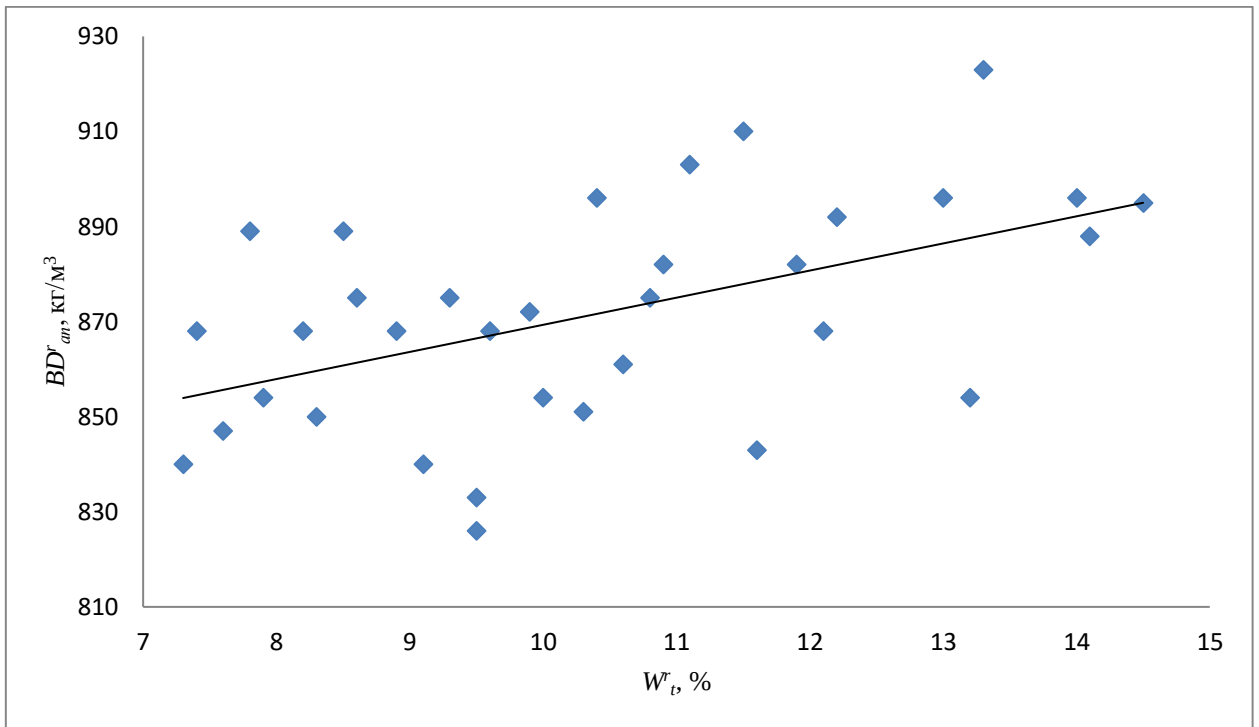


Рис. 3.1 – Вплив вологості вугільних концентратів на їх насипну щільність в апараті ДП «УХІН»

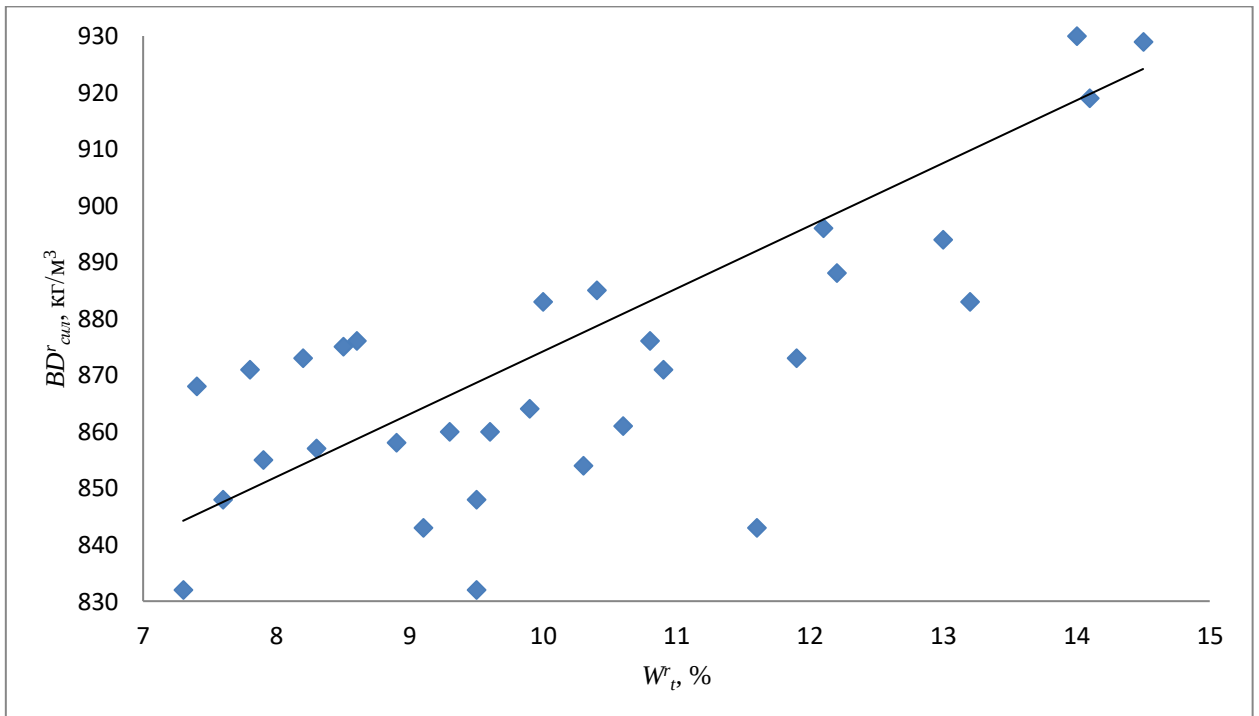


Рис. 3.2 – Вплив вологості вугільних концентратів на їх насипну щільність в силосі

Таблиця 3.5

Математичні рівняння прогнозу насипної щільності вугілля

№	Вид рівняння
(3.1)	$BD_{\text{ап}}^r = 812,29 + 5,7042W_t^r$
(3.2)	$BD_{\text{сил}}^r = 763,17 + 11,103W_t^r$

Отримані математичні та графічні залежності узгоджуються з відомим фактом впливу вологості на величину насипної щільності вугілля. На поверхні вугільних частинок вода утворює найтоншу плівку, яка завдяки силам змочування утримує зерна, що знаходяться поряд, як би злиплими. У міру збільшення вологості вугілля плівка води на зернах збільшується, сила зчеплення слабшає, що дозволяє зернам рухатися вільніше і укладатися щільніше. В кінцевому підсумку це призводить до збільшення насипної щільності вугільних концентратів.

Необхідно також зазначити, що зміна вологи не описує повністю зміну значень насипної щільності дослідженого вугілля, отже, є додаткові фактори, які мають суттєвий вплив на цю величину, наприклад, гранулометричний склад, вміст мінеральний речовин тощо.

На підставі отриманих даних при виконанні НДР «Розробка методики визначення залишків вугільної сировини на відкритому складі і в силосах дозувального відділення вуглепідготовчого цеху з використанням апарату ДП «УХІН» з визначення насипної щільності» було розроблено проект Інструкції з обліку залишків вугільних концентратів у силосах дозувального відділення і на відкритому складі вугілля вуглепідготовчого цеху ПРАТ «ЗАПОРІЖКОКС».

3.2 Визначення впливу вологи на насипну щільність вугільних шихт

З огляду на постійне вдосконалення процесу підготовки вугільних шихт в умовах КХВ ПрАТ «МК «АЗОВСТАЛЬ» і ПрАТ «ЗАПОРІЖКОКС»

[63–69], були проведені спеціальні дослідження з визначення впливу вологості вугільних шихт цих підприємств на їх насипну щільність.

3.2.1 КХВ ПрАТ «МК «АЗОВСТАЛЬ»

Марочний і компонентний склади вугільної шихти КХВ ПрАТ «МК «АЗОВСТАЛЬ» наведені в табл. 3.6.

Аналізуючи наведені дані, можна зробити висновок, що до складу вугільної шихти входило 25 % вугілля газової групи (марки «Г» і «ГЖП»), 25 % вугілля марки «Ж», 40 % вугілля марки «К» і 10 % вугілля марки «ПС».

У табл. 3.7–3.9 наведені технологічні властивості, петрографічна характеристика і гранулометричний склад вугільних концентратів та вугільної шихти (після подрібнення), складеної на їх основі.

Таблиця 3.6

Марочний і компонентний склади вугільної шихти КХВ ПрАТ «МК «АЗОВСТАЛЬ»

Постачальник	Марка	Частка, %
ЦЗФ «Жовтнева»	Г	3,0
ТОВ «ТАЛТЕК»	ГЖП	19,0
ЦЗФ «Добропільська»	ГЖП	3,0
Wellmore	Ж	25,0
ЗФ «Свято-Варваринська»	К	26,0
Res Coal	К	14,0
Pocahontas	ПС	10,0
Разом		100,0

У табл. 3.10 і на рис. 3.3 наведені результати визначення насипної щільності вугільної шихти при вмісті в ній робочої вологи від 4 до 12 %.

Аналізуючи дані, наведені в табл. 3.10 і на рис. 3.3, можна зробити висновок, що величина насипної щільності вугільної шихти істотно залежить від її робочої вологи. Мінімальна величина насипної щільності (798 кг/м^3) досягається при величині робочої вологи, яка дорівнює $\sim 7 \%$.

Таблиця 3.7

Технологічні властивості вугільних концентратів та вугільної шихти КХВ ПрАТ «МК «АЗОВСТАЛЬ»

Постачальник	Марка	Технічний аналіз, %			Пластометричні показники, мм		Коефіцієнт розмолотості згідно Хардгроу, од.
		A^d	S_t^d	V^{daf}	x	y	HGI
ЦЗФ «Жовтнева»	<i>Г</i>	7,3	1,49	39,6	41	15	41
ТОВ «ТАЛТЕК»	<i>ГЖП</i>	7,5	0,49	37,9	36	12	51
ЦЗФ «Добропільська»	<i>ГЖП</i>	7,0	1,72	39,4	50	13	45
Wellmore	<i>Ж</i>	7,9	1,05	33,2	19	22	65
ЗФ «Свято-Варваринська»	<i>К</i>	8,8	0,70	26,9	15	15	66
Res Coal	<i>К</i>	8,2	1,15	25,5	26	19	80
Pocahontas	<i>ПС</i>	8,0	0,72	18,3	5	12	84
Шихта виробнича		8,0	0,79	31,0	26	15	-

Таблиця 3.8

Петрографічна характеристика вугільних концентратів та вугільної шихти КХВ ПрАТ «МК «АЗОВСТАЛЬ»

Постачальник	Марка	Петрографічний склад (без мінеральних домішок),%					Середній показник відбиття вітриніту, %	Стадії метаморфізму вітриніту, %						
								<0,50	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 стадіях метаморфізму вітриніту						
		Vt	Sv	I	L	ΣOK	R ₀	Д	ДГ+Г	ГЖП+ГЖ	Ж	К	ПС	П
ЦЗФ «Жовтнева»	Г	68	0	23	9	23	0,72	4	77	4	15	0	0	0
ТОВ «ТАЛТЕК»	ГЖП	78	0	21	1	21	0,65	0	96	4	0	0	0	0
ЦЗФ «Добропільська»	ГЖП	75	0	16	9	16	0,72	4	63	27	6	0	0	0
Wellmore	Ж	83	1	14	2	15	0,98	0	3	14	71	12	0	0
ЗФ «Свято-Варваринська»	К	88	1	9	2	10	1,19	0	0	0	56	44	0	0
Res Coal	К	86	0	13	1	13	1,19	0	0	10	63	27	0	0
Pocahontas	ПС	81	0	19	0	19	1,55	0	0	0	0	39	55	6
Шихта виробнича			85	0	14	1	14	1,04	0	23	6	42	23	6

Таблиця 3.9

Гранулометричний склад вугільних концентратів та вугільної шихти КХВ ПрАТ «МК «АЗОВСТАЛЬ»

Постачальник	Марка	Гранулометричний склад (мм), %									Середній діаметр часток, мм
		>50	50–25	13–25	6–13	3–6	1–3	0,5–1	<0,5	<3	d_s
ЦЗФ «Жовтнева»	<i>Г</i>	6,8	20,6	18,0	17,8	12,1	11,1	4,7	8,9	24,7	18,80
ТОВ «ТАЛТЕСК»	<i>ГЖП</i>	2,9	18,8	18,8	19,1	13,8	11,9	5,1	9,6	26,6	15,58
ЦЗФ «Добропільська»	<i>ГЖП</i>	0,0	19,6	41,0	23,2	6,4	3,7	1,5	4,6	9,8	17,74
Wellmore	<i>Ж</i>	0,0	19,6	41,0	23,2	6,4	3,7	1,5	4,6	9,8	17,74
ЗФ «Свято-Варваринська»	<i>К</i>	0,0	4,9	8,3	16,6	16,3	15,9	8,4	29,6	53,9	6,24
Res Coal	<i>К</i>	0,0	5,1	12,7	16,6	15,7	21,7	9,1	19,1	49,9	7,24
Pocahontas	<i>ПС</i>	0,0	0,0	7,0	5,5	9,2	23,1	14,5	40,7	78,3	3,03
Шихта виробнича після подрібнення		0,0	0,0	0,0	8,3	11,8	31,3	18,5	30,1	79,9	2,16

При зниженні величини робочої вологи до 4 % або її зростанні до 12 %, значення насипної щільності вугільної шихти зростає до 820 і 871 кг/м³ відповідно.

Рівняння (3.3) описує вплив вологості вугільної шихти на її насипну щільність:

$$BD^r = 2,6429 \cdot (W_t^r)^2 - 35,686 \cdot W_t^r + 920,6; R^2 = 0,9752 \quad (3.3)$$

Таблиця 3.10

Вплив вмісту робочої вологи на насипну щільність вугільної шихти

Варіант	Робоча волога, %	Насипна густина, кг/м ³
	W_t^r	BD^r
1	4,0	820
2	6,0	804
3	8,0	798
4	10,0	834
5	12,0	871

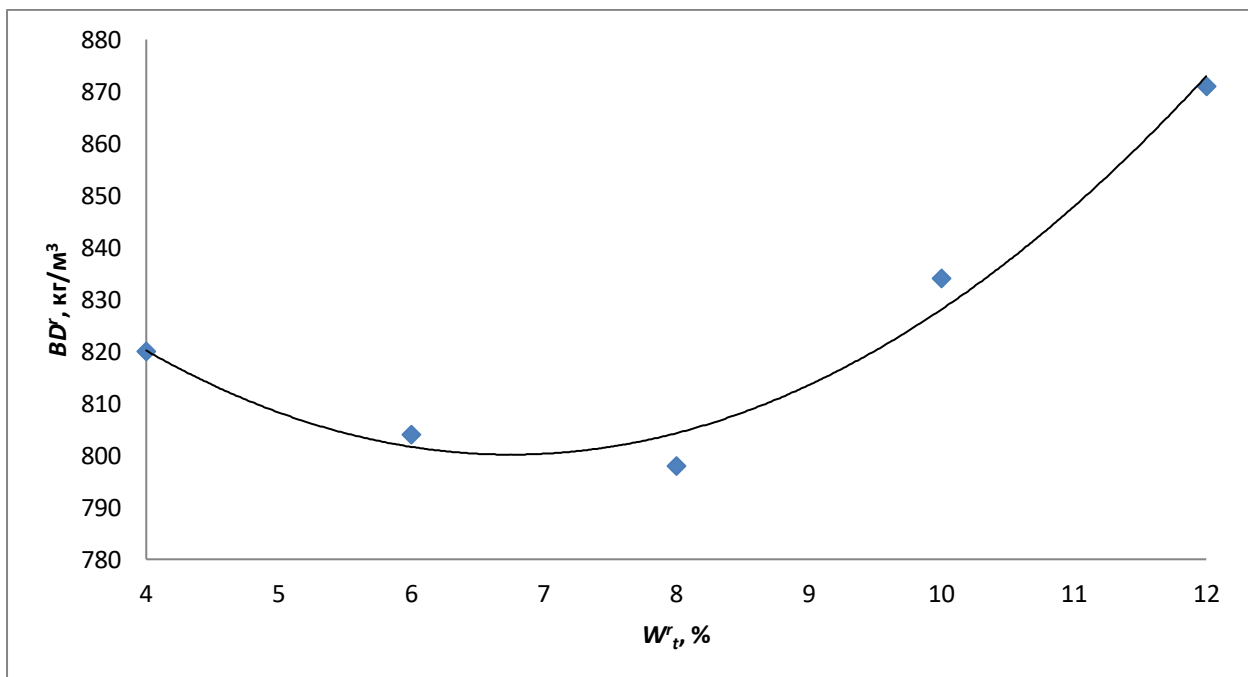


Рис. 3.3 – Графік залежності насипної щільності від робочої вологи вугільної шихти КХВ ПрАТ «МК «АЗОВСТАЛЬ»

3.2.2 ПрАТ «ЗАПОРІЖКОКС»

Марочний і компонентний склади вугільної шихти ПрАТ «ЗАПОРІЖКОКС» наведені в табл. 3.11.

Аналізуючи наведені дані, можна зробити висновок, що до складу вугільної шихти входило 31 % вугілля газової групи, 25 % вугілля марки «Ж», 38 % вугілля марки «К» і 6 % вугілля марки «ПС».

Таблиця 3.11

Марочний і компонентний склади вугільної шихти ПрАТ «ЗАПОРІЖКОКС»

Постачальник	Марка	Частка, %
ТОВ «Ресурс»	ГЖП	31,0
Wellmore	Ж	8,0
Carter Roag	Ж	17,0
ЗФ «Свято-Варваринська»	К	30,0
Deep Mine # 41	К	8,0
Pocahontas	ПС	6,0
Шихта		100,0

У табл. 3.12–3.14 наведені технологічні властивості, петрографічна характеристика і гранулометричний склад вугільних концентратів та вугільної шихти (після дроблення), складеної на їх основі.

У табл. 3.15 і на рис. 3.4 наведені результати визначення насипної щільності і гранулометричного складу вугільної шихти при вмісті в ній робочої вологи від 4,5 до 12 %.

Визначення гранулометричного складу проводили шляхом розсіву проби вугільної шихти фактичної вологості в механічному апараті протягом 5 хвилин.

Аналізуючи дані, наведені в табл. 3.15 і на рис. 3.4, можна зробити висновок, що величина насипної щільності вугільної шихти, як і у випадку з вугільною шихтою КХВ ПрАТ «МК «АЗОВСТАЛЬ», також істотно залежить від її робочої вологи. Мінімальна величина насипної щільності (779 кг/м^3) досягається при величині робочої вологи, яка дорівнює $\sim 7\text{--}8\%$. При зниженні величини робочої вологи до $4,5\%$ або її зростанні до 12% , значення насипної щільності вугільної шихти зростає до 845 і 892 кг/м^3 відповідно.

Таблиця 3.12

Технологічні властивості вугільних концентратів та вугільної шихти ПрАТ «ЗАПОРІЖКОКС»

Постачальник	Марка	Технічний аналіз, %			Пластометричні показники, мм		Коефіцієнт розмолоздатності згідно Хардгрову, од.
		A^d	S_t^d	V^{daf}	x	y	HGI
ТОВ «Ресурс»	<i>ГЖП</i>	8,7	0,51	37,3	37	10	47
Wellmore	<i>Ж</i>	7,7	1,06	33,6	20	22	63
Carter Roag	<i>Ж</i>	8,7	1,17	31,7	12	21	64
ЗФ «Свято-Варваринська»	<i>К</i>	8,2	0,70	27,6	17	15	72
Deep Mine # 41	<i>К</i>	8,0	1,12	26,5	13	21	86
Pocahontas	<i>ПС</i>	8,8	0,71	18,3	10	12	84
Шихта виробнича		8,4	0,92	30,6	29	16	-

Таблиця 3.13

Петрографічні характеристики вугільних концентратів та вугільної шихти ПрАТ «ЗАПОРІЖКОКС»

Постачальник	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					
		<i>Vt</i>	<i>Sv</i>	<i>I</i>	<i>L</i>	ΣOK	R_0	<i>ДГ+Г</i>	<i>ГЖП+ГЖ</i>	<i>Ж</i>	<i>К</i>	<i>ПС</i>	<i>П</i>
ТОВ «Ресурс»	<i>ГЖП</i>	80	0	18	2	18	0,70	93	2	5	0	0	0
Wellmore	<i>Ж</i>	83	0	13	4	13	0,99	2	10	88	0	0	0
Carter Roag	<i>Ж</i>	81	0	15	4	15	1,00	0	9	91	0	0	0
ЗФ «Свято-Варваринська»	<i>К</i>	86	1	12	1	13	1,20	0	0	50	50	0	0
Deep Mine # 41	<i>К</i>	74	1	24	1	25	1,10	0	0	84	16	0	0
Pocahontas	<i>ПС</i>	79	1	20	0	21	1,54	0	0	0	35	63	2
Шихта виробнича		82	0	16	2	16	1,00	28	5	46	17	4	0

Таблиця 3.14

Гранулометричний склад вугільних концентратів та вугільної шихти ПрАТ «ЗАПОРІЖКОКС»

Постачальник	Марка	Гранулометричний склад (мм), %									Середній діаметр частинок, мм
		>50	50–25	13–25	6–13	3–6	1–3	0,5–1	<0,5	<3	d_s
ТОВ «Ресурс»	ГЖП	1,7	7,6	9,9	19,7	10,6	25,7	12,1	12,7	50,5	9,09
Wellmore	Ж	0,0	2,7	11,7	21,6	14,3	23,1	10,2	16,4	49,7	6,59
Carter Roag	Ж	0,0	2,2	5,5	14,6	10,4	26,6	15,7	25,0	67,3	4,54
ЗФ «Свято-Варваринська»	К	1,1	5,5	7,5	9,5	32,3	14,8	8,8	20,5	44,1	7,14
Deep Mine #41	К	1,5	2,7	4,6	12,1	10,6	27,3	16,9	24,3	68,5	5,48
Pocahontas	ПС	0,0	0,6	2,9	6,8	7,1	22,6	21,5	38,5	82,6	2,56
Шихта виробнича після дроблення		0,0	0,0	0,0	12,6	9,7	24,3	17,3	36,1	77,7	2,34

Таблиця 3.15

Вплив вмісту робочої вологи на насипну щільність і гранулометричний склад вугільної шихти

№	Робоча волога, W^r_t , %	Насипна щільність, BD^r , кг/м ³	Гранулометричний склад (мм), %					Середній діаметр частинок, мм
			>6	3–6	1–3	0,5–1	<0,5	d_s
1	4,5	845	12,6	9,7	24,3	17,3	36,1	2,34
2	5,0	819	11,8	12,3	24,0	28,2	23,7	2,43
3	6,0	808	9,3	16,0	28,1	34,3	12,3	2,45
4	7,0	779	10,2	15,1	28,3	40,2	6,2	2,53
5	8,0	779	11,8	16,1	30,9	39,1	2,2	2,76
6	9,0	808	13,5	16,6	37,6	31,3	1,0	3,02
7	10,0	842	11,1	21,3	47,7	19,2	0,8	3,11
8	11,0	892	12,1	21,7	41,3	24,6	0,2	3,14
9	12,0	896	17,9	29,9	50,7	1,3	0,2	4,07

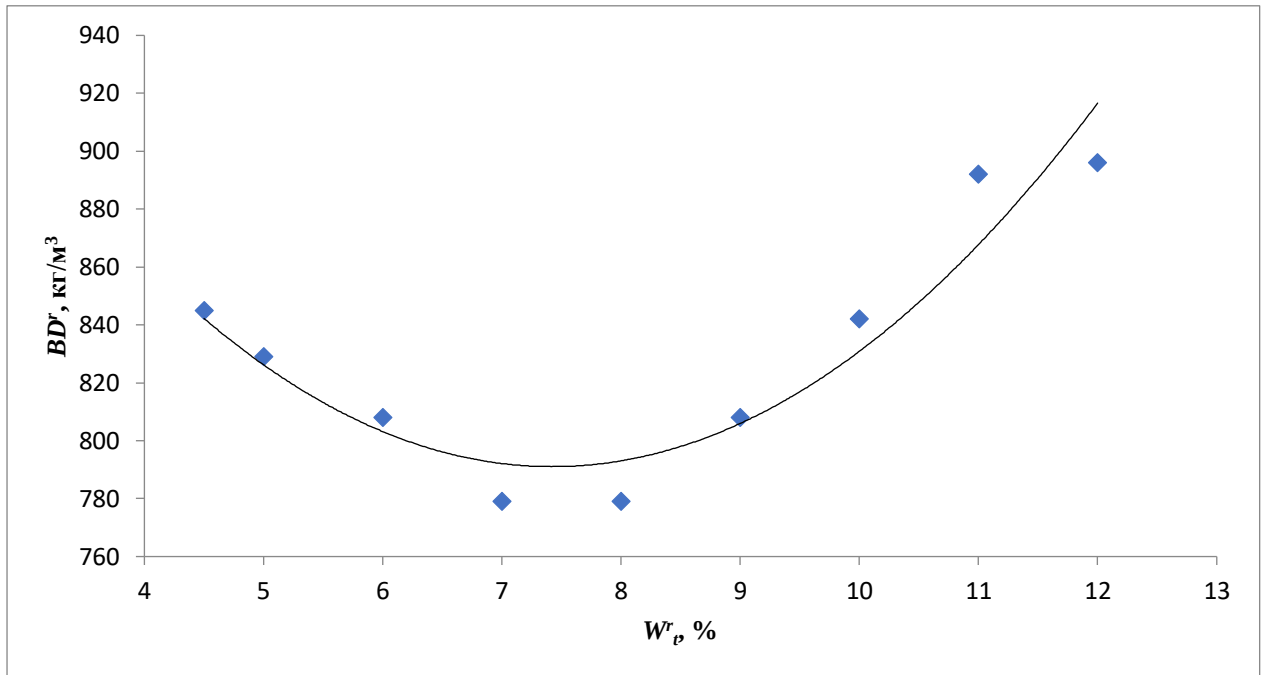


Рис. 3.4 – Графік залежності насипної щільності від вологості шихти

Рівняння (3.4) описує вплив вологості вугільної шихти на її насипну щільність:

$$BD^r = 5,9926 \cdot (W_t^r)^2 - 88,959 \cdot W_t^r + 1121,2; R^2 = 0,8948 \quad (3.4)$$

На нашу думку, зміна насипної щільності вугільної шихти відбувається внаслідок перерозподілу її гранулометричного складу в бік зниження вмісту класу менше 0,5 мм і збільшення середнього діаметра вугільних частинок.

На рис. 3.5 і 3.6 наведені графічні, а в табл. 3.16 математичні залежності вмісту частинок вугілля менше 0,5 мм і їх середнього діаметра від вологості шихти.

Можна зробити висновок, що збільшення вологості вугільної шихти з 4,5 до 12 % призводить до різкого зниження вмісту класу менше 0,5 мм, що заповнюють порожнини між грубішими зернами. На нашу думку, це викликано огрудкуванням вугільних часток цього класу. Підтвердженням цьому служить, в першу чергу, збільшення величини середнього діаметра вугільних частинок з 2,34 до 4,07 мм. Наслідком цього є зниження насипної щільності шихти, що сягає мінімуму за вологості $\sim 7,5$ %.

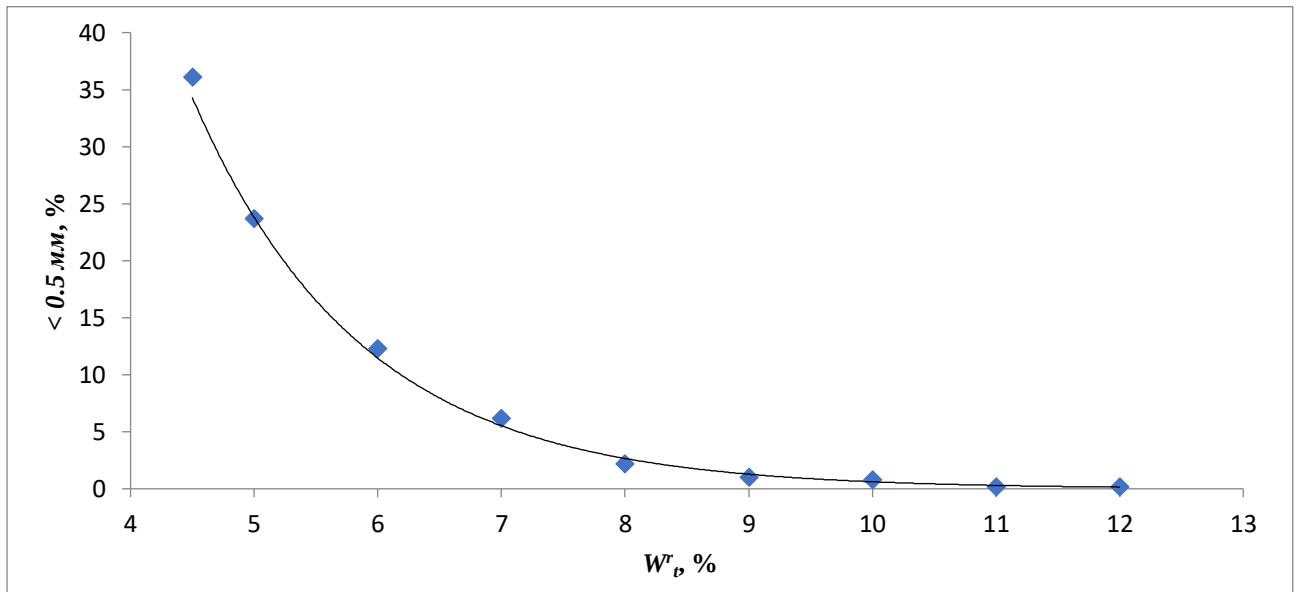


Рис 3.5 – Графік залежності змісту частинок вугілля менше 0,5 мм від вологості шихти

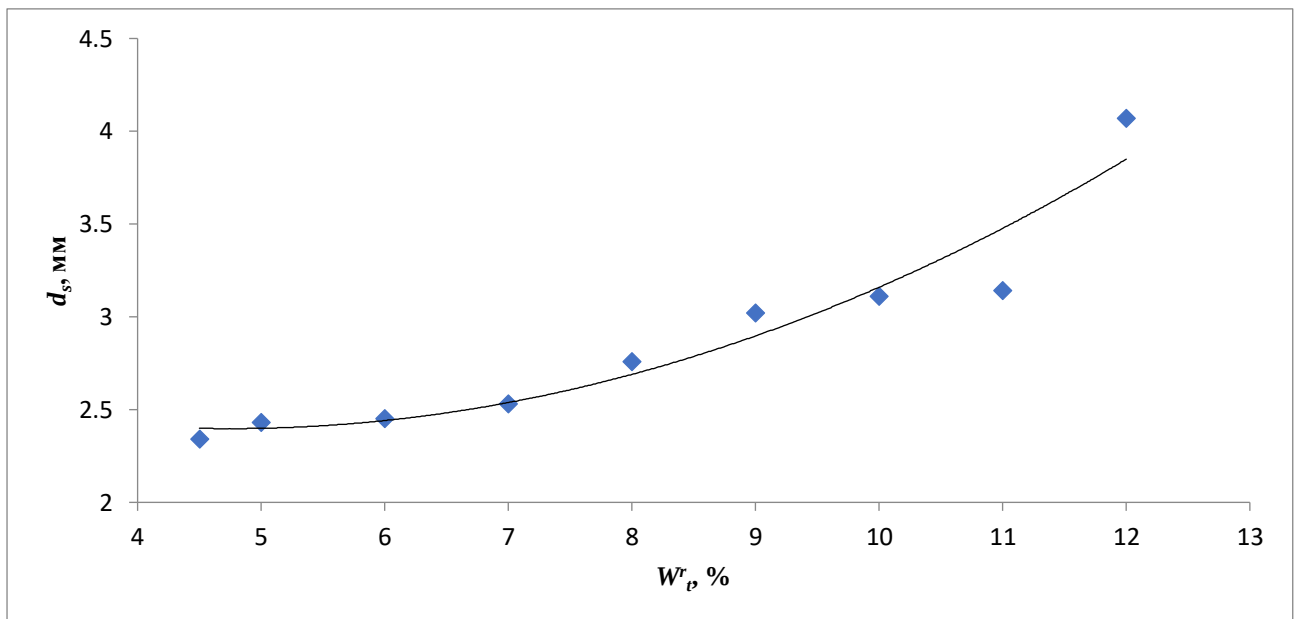


Рис 3.6 – Графік залежності середнього діаметру частинок шихти від вологості шихти

За подальшого збільшення вологості насипна щільність зростає головним чином внаслідок щільнішого пакування вугільних зерен в засипу через їх взаємне ковзання та утворення водневих зв'язків.

З огляду на подібність залежностей, наведених на рис. 3.3 і 3.4, а також математичних рівнянь (3.5) і (3.6), результати, отримані при визначенні впливу

вологості вугільних шихт КХВ ПрАТ «МК «АЗОВСТАЛЬ» і ПрАТ «ЗАПОРІЖКОКС» на їх насипну щільність, були об'єднані в загальну вибірку.

Таблиця 3.16

Математичні залежності

№	Вид рівняння	R ²
(3.5)	$< 0,5 \text{ мм} = 917,72 \cdot e^{-0,731 \cdot W_t^r}$	0,9851
(3.6)	$d_s = 0,0276 \cdot (W_t^r)^2 - 0,2617 \cdot W_t^r + 3,0184$	0,9202

На рис. 3.5 приведена графічна залежність впливу вологості на насипну щільність вугільних шихт КХВ ПрАТ «МК «АЗОВСТАЛЬ» і ПрАТ «ЗАПОРІЖКОКС».

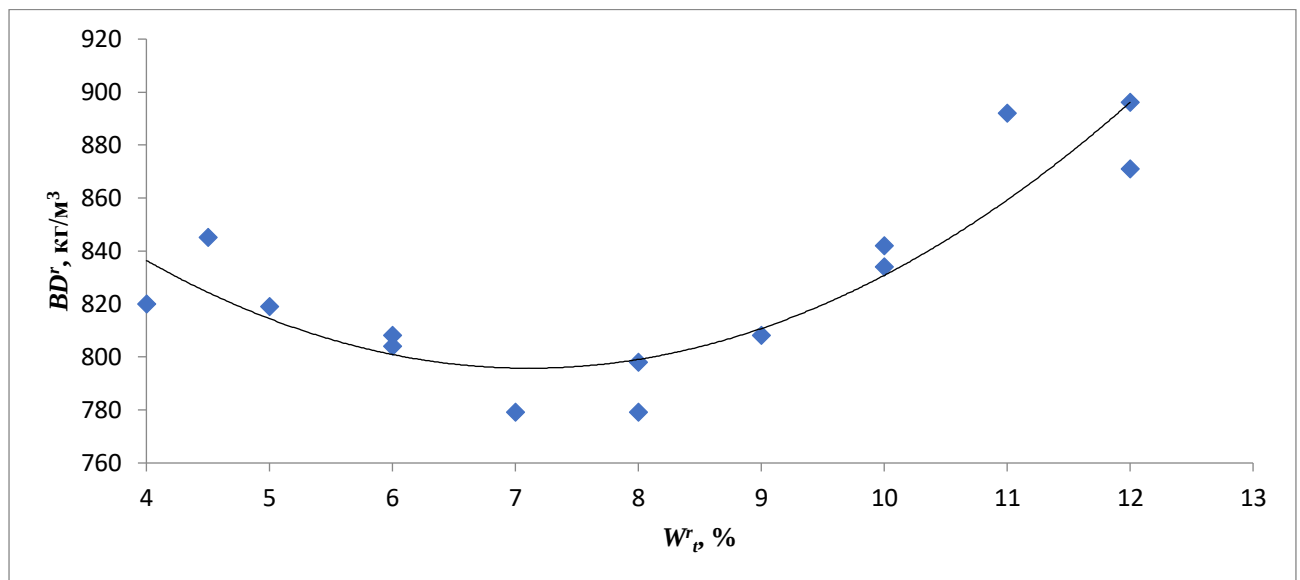


Рис. 3.7 – Графік залежності насипної щільності від вологості шихти

Рівняння (3.7) описує наведену на рис. 3.7 графічну залежність.

$$BD^r = 4,1987 \cdot (W_t^r)^2 - 59,717 \cdot W_t^r + 1008,1; R^2 = 0,8195 \quad (3.7)$$

З огляду на той факт, що значення вологості, за якого перша похідна рівняння (3.7) становить 7,1, можна стверджувати, що мінімальне значення насипної щільності досягається при значенні робочої вологи шихти, що дорівнює 7,1 %.

ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 3

1. Встановлено, що при збільшенні вологості вугільних концентратів від 7,3 до 14,4 % їх насипна щільність зростає на 5,7–11,1 кг/м³ на 1 % збільшення вологості в залежності від способу її вимірювання (апарат ДП «УХІН» або силос дозувального відділення ВПЦ ПРАТ «ЗАПОРІЖКОКС»).

2. Розроблено математичні та графічні залежності, що описують вплив збільшення вологості вугільних шихт КХВ ПрАТ «МК «АЗОВСТАЛЬ» і ПрАТ «ЗАПОРІЖКОКС» на вміст в них класу менше 0,5 мм, а також величин їх середнього діаметра і насипної щільності.

3. Встановлено, що вугільні шихти характеризуються мінімальною насипною щільністю при вологості, рівній 7,1 %. Зниження або збільшення вологості вугільних шихт в інтервалі від 4 до 12 % призводить до зростання їх насипної щільності.

4. При збільшенні вологості вугільних шихт до 12 % відбувається різке зниження вмісту в них класу менше 0,5 мм. Ця обставина має місце внаслідок огрудкування дрібних вугільних класів, що виражається в збільшенні величини їх середнього діаметра. За подальшого збільшення вологості насипна густина зростає головним чином внаслідок щільнішого пакування вугільних зерен в засипу через їх взаємне ковзання та утворення водневих зв'язків.

5. На підставі отриманих даних було розроблено проект Інструкції з обліку залишків вугільних концентратів у силосах дозувального відділення і на відкритому складі вугілля вуглепідготовчого цеху ПРАТ «ЗАПОРІЖКОКС».

РОЗДІЛ 4

ЗМІНА ВОЛОГИ ПІД ЧАС РОЗМОРОЖУВАННЯ ТА ПІДГОТОВКИ ВУГІЛЛЯ ДО КОКСУВАННЯ

4.1 Вплив вмісту вологи на змерзання вугілля

В даний час в сировинній базі коксохімічних підприємств України присутнє вугілля як ближнього, так і далекого зарубіжжя. Вугільні концентрати цих постачальників надходять на підприємства з вологою $\sim 10\%$, що в зимовий час, при негативній температурі навколишнього середовища, призводить до їх змерзання.

Змерзання і міцність змерзлої дисперсної системи вугілля-вода-лід обумовлені фазовим станом води, яка знаходиться на поверхні вугільних частинок.

Теорія змерзання вугілля розглянута в роботі [70], її основні положення теорії зводяться до наступного.

На зовнішній поверхні частинок утримується шар міцно зв'язаної води, яка під впливом активних центрів поверхні набуває особливі фізико-хімічні властивості. Вона замерзає при температурі нижче $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$. Коли зовнішня волога являє собою адсорбційний шар міцнозв'язаної вологи, змерзання частинок при звичайних негативних температурах відсутнє. Міцність зв'язку води з поверхнею зменшується зі збільшенням товщини її плівки. Шари води, що примикають до плівки міцнозв'язаної, незамерзаючої води, відчують менший вплив поверхні. Це так звана слабкозв'язана вода. Вона на відміну від міцнозв'язаної води здатна кристалізуватися в лід, але при температурах нижчих, ніж температура замерзання води в об'ємі. На відміну від міцнозв'язаної, ця вода має більшу рухливість, що обумовлює стягування її до точок контакту між частинками вугілля. При негативних температурах частина цієї води замерзає, між частинками утворюються спайки, і система втрачає сипкість.

Кількість зв'язаної незамерзаючої води і кількість води, що кристалізується в лід, залежить (за інших рівних умов) від поверхневої енергії вугілля, яка є функцією їх петрографічних особливостей – стадії метаморфізму і петрографічного складу.

Міцність змерзлого вугілля визначається міцністю льоду, яка залежить від поверхневої енергії частинок кристалітів.

З метою забезпечення нормального вивантаження вугільних концентратів, перед вагоноперекидачами вони повинні бути направлені до спеціальних гаражів для їх розморожування [71–73].

У процесі знаходження вагонів з вугіллям в цих гаражах відбувається інтенсивне видалення вологи, що приводить до зміни фактичної маси вугілля.

В ході виконання досліджень були вивчені питання впливу різних чинників (температура навколишнього середовища, вихідна вологість вугільних концентратів і їх гранулометричний склад, тривалість перебування вугілля в гаражі розморожування) на зміну фактичної маси вугільних концентратів в ході їх розморожування.

Показники якості досліджених вугільних концентратів наведені в табл. 4.1–4.4. Необхідно зупинитися на величині максимальної вологоємності дослідженого вугілля [3, 4, 9, 74, 75].

В роботі [70] досліджено змерзання кам'яного вугілля Кузбасу різної стадії метаморфізму і близького петрографічного складу. Ступінь змерзання вугілля різної вологості оцінювали по міцності змерзлих зразків при одноосьовому стисканні.

Все випробуване вугілля при зміні вологості до значення максимальної вологоємності не змерзається. Змерзання частинок починається при вмісті в них вологи, що перевищує значення максимальної вологоємності. Ця умова виконувалася для всіх випробуваних класів крупності від 0,5–1 до 5–7 мм і меж температури від -8 до -35 °С. Тому максимальна вологоємність може бути прийнята як безпечна для змерзання вугілля вологість.

Таблиця 4.1

Технологічні властивості вугільних концентратів

Постачальник	Марка	Технічний аналіз, %				Пластометричні показники, мм		Максимальна вологоемність, %	Показник окиснення, °C
		W^a	A^d	S_t^d	V^{daf}	x	y	W_{max}	Δt
ЦЗФ «Щедрухінська»	Γ	3,3	7,5	0,53	38,2	32	10	4,12	1
Розріз «Талдинский Західний»	Γ	4,0	8,5	0,44	37,0	33	10	3,79	4
ЦЗФ «Тайбінська»	Γ	2,9	9,0	0,50	34,1	30	10	3,14	3
Wellmore	$\mathcal{K}$	1,3	7,5	0,98	34,2	17	24	3,16	2
Rocklick	$\mathcal{K}$	1,3	7,5	0,98	34,2	17	24	3,17	2
ЗФ «Свято-Варваринська»	K	1,1	9,1	0,73	26,8	14	14	2,33	2
Teck Premium	$K+KP$	1,1	8,6	0,56	26,2	18	14	2,22	5
ЦЗФ «Березовська»	KP	1,5	5,1	0,40	24,2	30	9	2,34	5
Pocahontas	PC	0,8	8,03	0,85	18,3	11	12	2,91	2

Таблиця 4.2

Петрографічна характеристика вугільних концентратів

Постачальник	Марка	Петрографічний склад (без мінеральних домішок), %					Середній 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 стадіях метаморфізму вітриніта					
		<i>Vt</i>	<i>Sv</i>	<i>I</i>	<i>L</i>	ΣOK	<i>R₀</i>	<i>ДГ+Г</i>	<i>ГЖП+ГЖ</i>	<i>Ж</i>	<i>К</i>	<i>ПС</i>	<i>П</i>
ЦЗФ «Щедрухінська»	<i>Г</i>	74	0	24	2	24	0,69	96	4	0	0	0	0
Розріз «Талдинский Західний»	<i>Г</i>	69	0	29	2	29	0,64	100	0	0	0	0	0
ЦЗФ «Тайбінська»	<i>Г</i>	66	0	31	3	31	0,72	94	6	0	0	0	0
Wellmore	<i>Ж</i>	73	0	24	3	24	0,99	0	11	89	0	0	0
Rocklick	<i>Ж</i>	69	0	26	5	26	0,97	2	18	79	1	0	0
ЗФ «Свято-Варваринська»	<i>К</i>	83	1	14	2	15	1,20	0	0	48	52	0	0
Teck Premium	<i>К+КП</i>	70	0	29	1	29	1,09	0	6	80	14	0	0
ЦЗФ «Березовська»	<i>КП</i>	37	1	62	0	63	1,05	0	11	83	6	0	0
Pocahontas	<i>ПС</i>	77	0	23	0	23	1,60	0	0	0	12	76	12

Елементний склад вугільних концентратів

Постачальник	Марка	Елементний склад, %				
		C^{daf}	H^{daf}	N^{daf}	S_t^d	O_d^{daf}
ЦЗФ «Щедрухінська»	Γ	83,10	5,77	2,40	0,53	8,20
Розріз «Талдинский Західний»	Γ	81,51	5,25	2,29	0,44	10,51
ЦЗФ «Тайбінська»	Γ	84,32	5,39	2,30	0,50	7,49
Wellmore	$\mathcal{K}$	86,94	6,15	1,66	1,10	4,15
Rocklick	$\mathcal{K}$	86,10	7,70	1,68	0,98	3,54
ЗФ «Свято-Варваринська»	K	87,52	5,45	1,65	0,73	4,65
Teck Premium	$K+KP$	88,20	4,96	1,36	0,56	4,92
ЦЗФ «Березовська»	$KП$	84,14	4,85	2,30	0,40	8,31
Pocahontas	$ПC$	91,56	4,85	1,40	0,85	1,34

Таблиця 4.4

Гранулометричний склад вугільних концентратів

Постачальник	Марка	Гранулометричний склад (мм), %									Середній діаметр частинок, мм
		>50	25–50	13–25	6–13	3–6	1–3	0,5–1	<0,5	<3	d_s
ЦЗФ «Щедрухінська»	<i>Г</i>	2,1	2,3	6,4	18,6	23,3	22,0	8,8	16,6	47,4	6,64
Розріз «Талдинский Західний»	<i>Г</i>	4,1	21,1	22,9	19,8	12,0	8,4	3,7	8,0	20,1	17,33
ЦЗФ «Тайбінська»	<i>Г</i>	1,6	6,8	12,8	19,5	20,2	18,2	8,1	12,8	39,1	8,92
Wellmore	<i>Ж</i>	0,0	2,8	7,6	22,8	20,6	18,4	8,6	19,2	46,2	5,61
Rocklick	<i>Ж</i>	0,0	2,3	7,6	15,0	18,6	20,4	10,0	26,1	56,5	4,78
ЗФ «Свято-Варваринська»	<i>К</i>	0,0	5,0	9,8	16,6	16,1	17,2	9,3	26,0	52,5	6,12
Teck Premium	<i>К+КП</i>	0,0	0,2	2,7	5,4	10,0	19,0	11,5	51,2	81,7	2,02
ЦЗФ «Березовська»	<i>КП</i>	10,3	21,5	16,4	13,1	8,4	7,6	4,4	18,3	30,3	20,31
Pocahontas	<i>ПС</i>	0,0	0,0	1,0	3,8	10,3	26,8	23,8	34,3	84,9	1,83

При подальшому збільшенні вологості дисперсного вугілля волога, що знаходиться на зовнішній поверхні частинок, замерзає і система втрачає сипкість.

Вплив ступеня метаморфізму вугілля на величину його максимальної вологоємності можна простежити на рис. 4.1, отриманому на підставі наведених у табл. 4.1 даних.

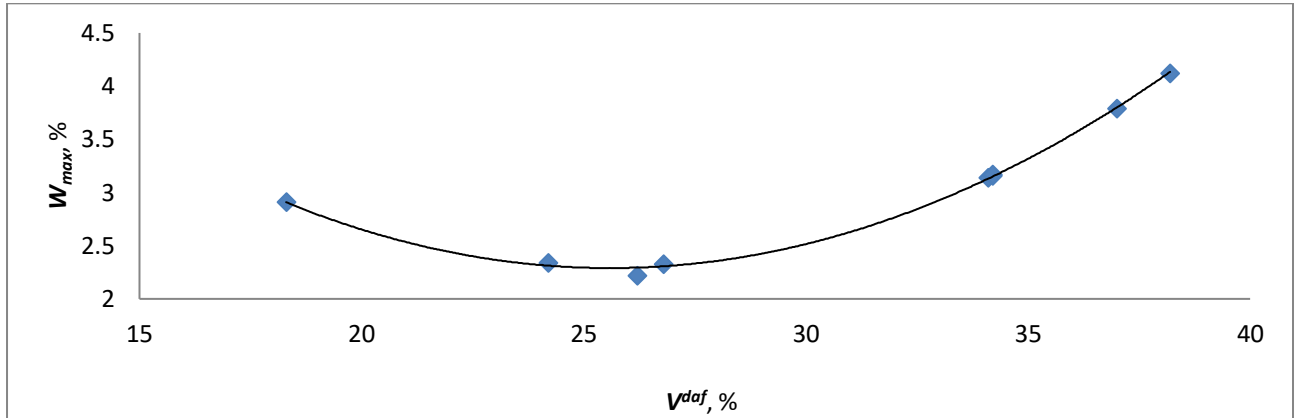


Рис. 4.1 Залежність максимальної вологоємності від показника виходу летких речовин

З урахуванням того, що максимальними значеннями вологоємності характеризується малометаморфізоване вугілля газової групи, це вугілля може перебувати менший час в гаражі розморожування в порівнянні з іншим коксівним вугіллям. Дослідження залежності температури змерзання вугілля від його гранулометричного складу і рівня вмісту робочої води є актуальним завданням, рішення якої дозволить оптимізувати роботу вуглепідготовчого цеху, а також знизити витрати на розігрів змерзлого вугілля. У якості модельного зразка в лабораторних дослідженнях використовували пробу вугілля компанії Wellmore (марка «Ж»). Вологоємність вугілля саме цієї марки близька до максимальної, а жирна марка вугілля є невід'ємною складовою вугільних шихт для отримання високоякісного доменного коксу. Дані по максимальній вологоємності його класів крупності наведені в табл. 4.5.

Аналізуючи дані, наведені в табл. 4.5, можна зробити висновок, що величина максимальної вологоємності знижується зі збільшенням крупності

досліджених класів вугілля. Отже, можна очікувати, що найбільшими вмістом робочої вологи і схильності змерзання будуть характеризуватися частки вугілля крупністю менше 3 і, особливо, менше 0,5 мм.

Таблиця 4.5

**Значення максимальної вологоємності класів крупності проби
вугілля Wellmore (марка «Ж»)**

Клас, мм	Максимальна вологоємність, W_{max} , %
<0,5	5,2
<3	3,0
3–6	2,8
6–13	2,1
13–50	1,8

Для визначення впливу рівня вологості (6, 10 і 12 %) на змерзання різних класів дослідженої проби вугілля виконали спеціальне дослідження.

Проби вугілля різної крупності завантажували в металеві форми діаметром 150 мм і висотою 150 мм, після чого витримували їх в морозильній камері при поступовому зниженні температури до $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ протягом 2 діб. Потім пробу вилучали з камери витягували і визначали ступінь змерзання вугілля при температурах $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ і $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$, як відношення вугілля, що висипалося до загальної маси вугілля, взятого для досліджу. Результати визначення змерзання різних класів крупності вугілля зведені в табл. 4.6.

Таблиця 4.6

Результати визначення ступеня змерзання

Клас, мм	W_t , %	Змерзання, %		
		$-5\text{ }^{\circ}\text{C}$	$-10\text{ }^{\circ}\text{C}$	$-15\text{ }^{\circ}\text{C}$
1	2	3	4	5
0–3	6	80	88	100
	10	88	96	100
	12	100	100	100
3–6	6	48	56	81
	10	64	76	96
	12	80	96	100

Продовження табл. 4.6

1	2	3	4	5
6–13	6	20	28	49
	10	36	48	64
	12	48	68	88
13–50	6	4	8	36
	10	6	16	45
	12	20	32	64

Аналізуючи дані, наведені в табл. 4.6, можна зробити висновок про те, що зі зниженням температури ступінь змерзання вугілля збільшується з підвищенням його вологості і зниженням крупності частинок.

Для визначення кількісного впливу утримання дрібних класів на величину змерзання вугілля були підготовлені суміші, що містять різну кількість класу 0–3 мм (табл. 4.7). Всі зразки характеризувалися вологістю, яка дорівнює 12 %.

Таблиця 4.7

Склад вугільних сумішей

Клас, мм	Склад вугільних сумішей, %			
	1	2	3	4
0–3	25	50	75	75
3–6	25	25	0	25
6–13	50	25	25	0
Разом	100	100	100	100
Середній діаметр, мм	6,00	4,13	3,38	2,25

Результати визначення змерзання сумішей, що містять різну кількість класу 0–3 мм, наведені в табл. 4.8.

Дані табл. 4.8 свідчать, що з підвищенням вмісту дрібних класів у вугіллі, яке виражається зниженням його середнього діаметру, відбувається збільшення ступеня змерзання вугілля в усьому діапазоні вивчених температур.

Таблиця 4.8

**Результати визначення змерзання сумішей, що містять різну
кількість класу 0–3 мм**

Суміш	Змерзання, %		
	–5 °C	–10 °C	–15 °C
1	35,2	68,8	90,0
2	82,0	82,0	92,3
3	88,6	83,2	94,8
4	94,8	98,0	100,0

Експериментальні дані з визначення втрати маси вугілля в процесі його розморожування наведені в табл. 4.9. Зокрема, в ній наведені найменування постачальників дослідженого вугілля, його марочна належність, дата експерименту, середньодобова температура в цей день, а також номер відомості, по якій надійшов вугілля.

Таблиця 4.9

Результати досліджень

Постачальник	Марка	Волога загальна, W_t , %	Середньодобова температура, t , °C	Час перебування в гаражі розморожування, хв	Зміна маси, Δm , %
1	2	3	4	5	6
ЦЗФ «Щедрухінская», РФ	Г	11,6	4,5	220	0,03
ЦЗФ «Талдинська Західна», РФ	Г	10,2	4,5	195	0,08
ЦЗФ «Тайбінська», РФ	Г	9,5	-2,0	190	0,03
		10,5	-1,0	375	0,29
Wellmore, США	Ж	8,9	0,5	310	0,50
		8,9	0,5	475	0,27

Продовження табл. 4.9

1	2	3	4	5	6
Rocklick, США	<i>Ж</i>	8,5	-3,5	245	0,10
		8,9	1,0	195	0,63
ЦЗФ «Свято-Варваринська», Україна	<i>К</i>	9,7	2,5	230	0,34
		10,3	0,5	310	0,04
Теск Premium, Канада	<i>К+КП</i>	9,7	0,5	265	0,16
ЦЗФ «Березовська», РФ	<i>КП</i>	8,9	6,5	250	0,03
Росаhontas, США	<i>ПС</i>	10,5	0,5	170	0,50
		10,1	1,0	300	0,01

Аналізуючи наведені дані, можна прийти до висновку, що зроблено 14 замірів втрати маси вугілля при його перебуванні в гаражі розморожування, причому температура навколишнього середовища варіювалася від $-3,5$ до $+6,5$ °С.

Аналіз отриманих результатів дозволяє стверджувати, що протягом перебування вугілля в гаражі розморожування відбувається втрата його маси (від 0,01 до 0,63 %), що може бути пояснено випаровуванням або дренажем вологи.

Максимальна втрата маси спостерігається у вугільних концентратах Wellmore (марка «Ж»), Rocklick (марка «Ж») і Росаhontas (марка «ПС»). Вона склала 0,50–0,63 %.

Внаслідок того, що змерзання вугілля в значній мірі залежить від вмісту в ньому робочої вологи і його гранулометричного складу, а єдиним параметром, що варіюється, був час знаходження вугілля в гаражі розморожування, то зміна фактичної маси вугілля оцінювалося по зміні саме цих трьох чинників.

Виходячи з наведених в табл. 4.11 даних, можна констатувати, що вміст робочої вологи у вугіллі, яке використовували у промисловому експерименті,

коливалося від 8,5 до 11,6 %, середній діаметр його часток варіювався від 2,02 до 20,31 мм, а час його перебування в гаражі розморожування змінювалося від 170 до 475 хв. При цьому, втрата маси вугілля в процесі розморожування становила 0,01–0,63 % мас.

Методами математичної статистики було отримано рівняння (4.1), що описує зміну маси вугілля при його розморожуванні в залежності від вмісту в ньому вологи, середнього діаметра його частинок і часу перебування в гаражі розморожування:

$$\Delta m = 1,161723 - 0,00033\tau - 0,007677W_t^r - 0,01529d_s \quad (4.1)$$

На рис. 4.2 наведена графічна залежність розрахункових (за рівнянням 4.1) і фактичних значень втрати маси вугілля в процесі його розморожування.

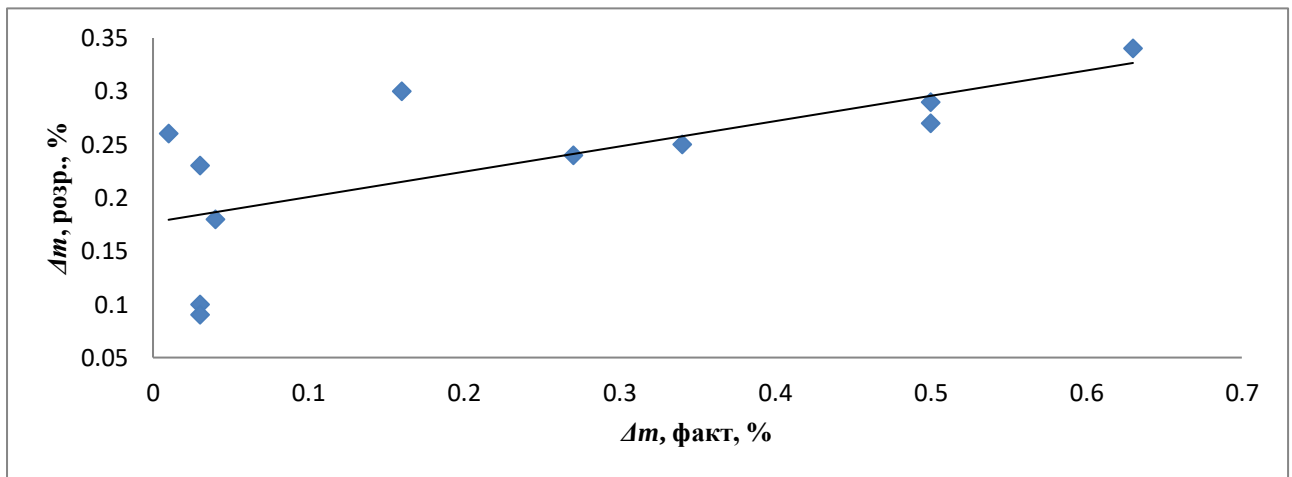


Рис. 4.2 Графічна залежність розрахункових і фактичних значень зміни маси вугілля в процесі його розморожування

Рівняння (4.1) дозволяє оцінити зниження маси вугілля в процесі розморожування в залежності від показників його якості та умов перебування в гаражі розморожування. В цілому, можна відзначити, що збільшення вихідної вологості, середнього діаметра вугільних частинок і часу перебування в гаражі розморожування призводить до зростання втрати фактичної маси вугільних концентратів при його розморожуванні.

4.2 Витрата води під час підготовки вугілля до коксування

4.2.1 Визначення витрат води при транспортуванні вугільних концентратів

Були виконані дослідження з визначення зміни вмісту води у вугільних концентратах в процесі їх транспортування від вагоноперекидача до верху силосів вуглепідготовчого складу при різних температурах навколишнього середовища, а саме в квітні (+4 °C) і серпні (+23,5 °C) в умовах ВПЦ-2 ПрАТ «Авдіївський коксохімічний завод».

Для дослідження були обрані 8 вугільних концентратів різного ступеня метаморфізму, а саме:

- ЦЗФ «Щедрухінська», марка «Г»;
- ш. «Усковська», марка «Г»;
- Carter Roag, марка «Ж»;
- Toms Creek, марка «Ж»;
- ЗФ «Свято-Варваринська», марка «К»;
- Goonyella, марка «К»;
- ЗФ «Березівська», марка «К»;
- Розріз «Бачатський», марка «К».

У табл. 4.10–4.12 наведені показники їх технічного (W^a , A^d , S^d_t , V^{daf}), пластометричного (x , y), петрографічного (R_0 , V_t , S_v , I , L , ΣOK , рефлектограма вітриніту) і ситового (>50 ; 25–50; 13–25; 6–13; 3–6; 1–3; 0,5–1; $<0,5$ мм) аналізів.

Вугільні концентрати ЦЗФ «Щедрухінська» і ш. «Усковська» характеризуються підвищеним вмістом летких речовин (37,5 % і 38,3 %) при низькому значенні вмісту загальної сірки – 0,54 % і 0,43 %. Складові вітриніту в основному (91,0 % і 88,0 %) відповідають стадіям метаморфізму вугілля марок «ДГ» і «ГЖ». Це вугілля можна віднести до твердої групи, оскільки коефіцієнт розмолотості по Хардгроу (HGI) становить 55 од і 54 од. Середній діаметр частинок (d_s) дорівнює 9,67 і 5,33 мм.

Таблиця 4.10

Технологічні властивості вугільних концентратів

Постачальник	Марка	Технічний аналіз %			Пластометричні показники, мм		Коефіцієнт розмолотості по Хардгрову, од.
		A^d	S_t^d	V^{daf}	x	y	HGI
Квітень (+4 °C)							
ЦЗФ «Щедрухінская»	Γ	7,5	0,54	37,5	35	12	55
Toms Creek	$\mathcal{K}$	7,6	0,98	35,5	28	18	68
ЦЗФ «Свято-Варваринська»	K	8,7	0,77	27,8	10	16	82
Розріз «Бачатський»	K	7,0	0,45	24,8	33	10	67
Серпень (+23,5 °C)							
ш. «Усковська»	$\Gamma\mathcal{K}$	7,3	0,43	38,3	24	17	54
Carter Roag	$\mathcal{K}$	8,1	0,96	33,7	31	21	67
Goonyella	K	9,1	0,50	26,1	14	18	72
ЗФ «Березівська»	K	7,7	0,52	25,3	22	12	62

Таблиця 4.11

Петрографічна характеристика вугільних концентратів

Постачальник	Марка	Петрографічний склад (Без мінеральних домішок), %					Середній показник відбиття вітриніту, %	Стадії метаморфізму вітриніту, %						
								<0,50	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						
		<i>Vt</i>	<i>Sv</i>	<i>I</i>	<i>L</i>	ΣOK	<i>R₀</i>	<i>Д</i>	<i>ДГ+Г</i>	<i>ГЖП +ГЖ</i>	<i>Ж</i>	<i>К</i>	<i>ПС</i>	<i>П</i>
Квітень 2017 (+4 °С)														
ЦЗФ «Щедрухінська»	<i>Г</i>	69	1	29	1	30	0,68	3	91	6	0	0	0	0
Toms Creek	<i>Ж</i>	70	0	25	5	25	0,93	0	25	27	41	7	0	0
ЗФ «Свято-Варваринська»	<i>К</i>	88	1	8	3	9	1,16	0	0	0	68	32	0	0
Розріз «Бачатський»	<i>К</i>	42	2	55	1	57	1,06	0	0	9	82	9	0	0
Серпень 2017 (+23,5 °С)														
ш. «Усковська»	<i>ГЖ</i>	94	0	5	1	5	0,73	0	88	12	0	0	0	0
Carter Roag	<i>Ж</i>	66	0	26	8	26	0,93	0	0	36	64	0	0	0
Goonyella	<i>К</i>	79	0	21	0	21	1,13	0	0	0	84	16	0	0
ЗФ «Березовська»	<i>К</i>	45	2	51	2	53	1,04	0	0	3	93	5	0	0

Таблиця 4.12

Гранулометричний склад вугільних концентратів

Постачальник	Марка	Гранулометричний склад (мм), %									Середній діаметр частинок, мм
		>50	50–25	13–25	6–13	3–6	1–3	0,5–1	<0,5	<3	d_s
Квітень 2017 (+4 °C)											
ЦЗФ «Щедрухінська»	<i>Г</i>	1,9	8,6	11,6	21,6	18,6	17,2	6,7	13,8	37,7	9,67
Toms Creek	<i>Ж</i>	0,7	7,8	14,1	18,2	14,5	17,1	8,6	19,0	44,7	8,48
ЦЗФ «Свято-Варваринська»	<i>К</i>	0,0	4,8	11,3	19,0	15,8	17,9	8,1	23,1	49,1	6,49
Розріз «Бачатський»	<i>К</i>	5,0	18,4	17,0	14,5	12,1	12,8	6,4	13,8	33,0	15,67
Серпень 2017 (+23,5 °C)											
ш. «Усковська»	<i>ГЖ</i>	0,0	0,0	10,6	28,9	15,5	18,6	6,3	20,1	45,0	5,33
Carter Roag	<i>Ж</i>	0,0	3,1	6,5	14,4	18,8	23,1	9,2	24,9	57,2	4,89
Goonyella	<i>К</i>	0,0	3,2	7,0	15,3	15,7	18,5	9,3	31,0	58,8	5,21
ЗФ «Березівська»	<i>К</i>	10,0	6,0	10,0	15,1	13,0	14,6	7,8	23,5	45,9	13,70

Вугілля марки «Ж» компаній Toms Creek і Carter Roag характеризується середнім значенням вмісту загальної сірки – 0,98 і 0,96 %, а складові вітриніту переважно розташовані в стадіях метаморфізму вугілля марок «ДГ», «ГЖП» і «Ж».

Петрографічний аналіз в цьому вугіллі показав, що вміст вітриніту становить 70,0 і 66,0 %, а сума фюзенізованих компонентів 25,0 і 26,0 % відповідно. Середній діаметр частинок вугілля відповідно дорівнює 8,48 мм і 4,89 мм.

Значення показника розмолоздатності по Хардгрову дорівнюють 68 і 67 од, що відносить це вугілля до категорії перехідних від м'яких до твердих.

Вугілля марки «К» ЗФ «Свято-Варваринська» і Goonyella є петрографічно однорідним: вміст вітриніту становить 88,0 і 79,0 %, а сума фюзенізованих компонентів дорівнює 9,0 і 21,0 % відповідно.

Складові вітриніту переважно відповідають стадіям метаморфізму вугілля марок «Ж» і «К». Вугілля можна віднести до м'якої групи, оскільки коефіцієнт його розмолоздатності по Хардгрову (*HGI*) становить 82 і 72 од., Середній діаметр частинок дорівнює 6,49 і 5,21 мм.

Вугілля марки «К» розрізу «Бачатський» і ЗФ «Березівська» характеризується невисоким значенням виходу летких речовин (24,8–25,3 %) і низьким вмістом загальної сірки (0,45–0,52 %). Досліджене вугілля петрографічне неоднорідне: вміст вітриніту становить 42,0–45,0 %, а вміст фюзенізованих компонентів 57,0–53,0 %. Складові вітриніту переважно зосереджені в стадії метаморфізму вугілля марки «Ж». Це вугілля, разом з жирним вугіллям Toms Creek, характеризується перехідним рівнем твердості – коефіцієнт розмолоздатності по Хардгрову *HGI* становить 62–67 од. Середній діаметр частинок становить 13,70–15,67 мм.

Дослідження з визначення зміни вмісту вологи при транспортуванні зазначеного вище вугілля проводилося таким чином.

Вугільні концентрати, що прибувають на підприємство, вивантажувалися

двома вагоноперекидачами в чотири вуглеприймних бункера ємністю по 60 тон кожен (рис. 4.3).

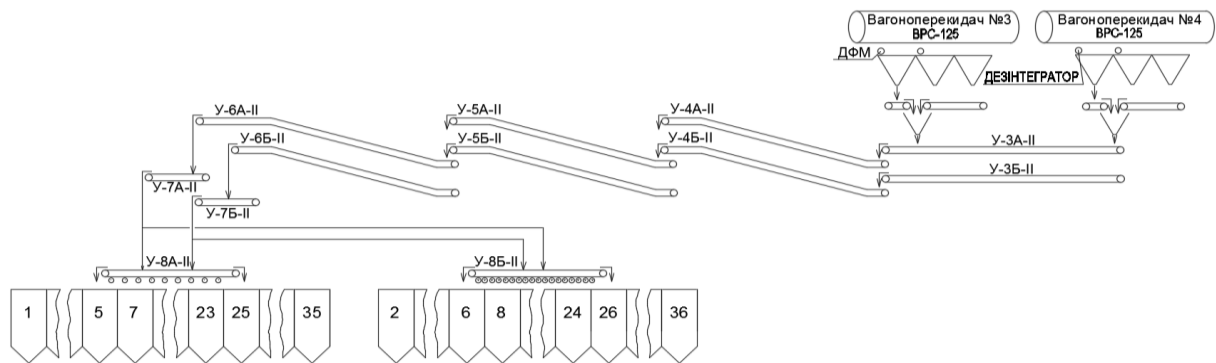


Рис. 4.3 – Схема транспортування вугільних концентратів від вагоноперекидачів до верху силосів закритого складу вугілля

З бункерів за допомогою стрічкових живильників концентрати подавалися на конвеєри У-3а-ІІ, У-3б-ІІ, потім перевантажувалися на конвеєри У-4а-ІІ, У-4б-ІІ, після цього – на конвеєри У-5а-ІІ, У-5б-ІІ і далі через перевантажувальну станцію 1-ІІ конвеєрами у-6а-ІІ, у-6б-ІІ подавалися наверх закритого складу вугілля на конвеєри у-8а-ІІ, у-8б-ІІ, з яких надходили в силоси закритого складу вугілля.

У процесі закачування зупинялися конвеєра і одночасно з них відбиралися вугільні проби на довжині стрічки 1 метр за усієї її шириною масою 80–100 кг безпосередньо з конвеєрів У-3а, У-3б і У-8а, У-8б.

У табл. 4.13 наведені дані щодо зміни вмісту робочої вологи у вугільних концентратах.

Аналізуючи отримані дані, можна зробити висновок, що втрата вологи в вугільних концентратах в процесі їх транспортування в квітні місяці склала в середньому 0,2 %, а в серпні – 0,9 %.

Виходячи з викладеного, можна зробити висновок, що втрата вологи в вугільних концентратах істотно залежить від температури навколишнього середовища: чим вища температура, тим більше втрачається вологи при транспортуванні вугільних концентратів і навпаки. Ця обставина повинна враховуватися при знятті залишків вугільної сировини в ВПЦ-2 ПрАТ «АКХЗ».

4.2.2 Визначення втрат вологи при транспортуванні вугільної шихти

У квітні, червні і серпні було здійснено визначення зміни робочої вологи шихти в процесі її транспортування і дроблення при подачі на коксову батарею №9 ПрАТ «АКХЗ» (рис. 4.4).

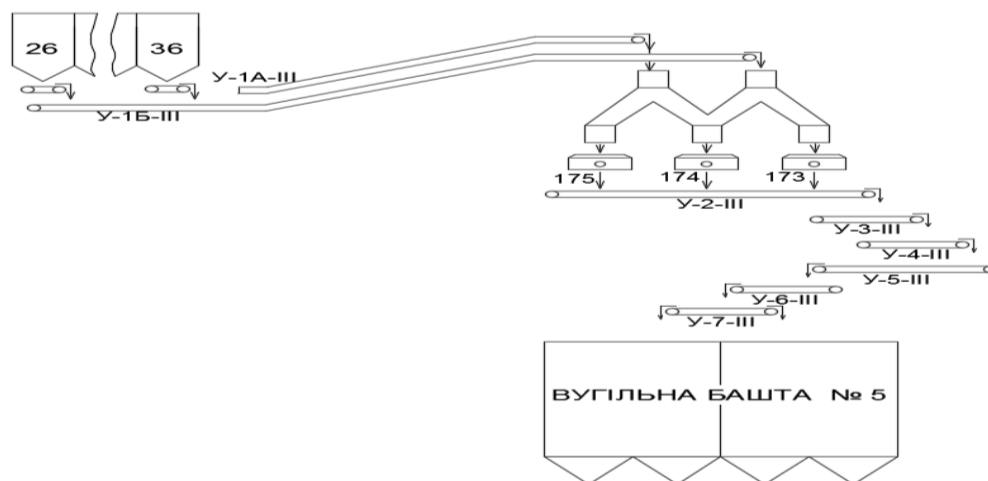


Рис. 4.4 – Схема подачі вугільної шихти в вугільну башту коксової батареї №9 ПрАТ «АКХЗ»

Дослідження виконувалися таким чином: зупинялися конвеєра, що подають вугільні концентрати від силосів закритого складу вугілля на дроблення (Y-1a і Y-1b), а після, з урахуванням навантаження на стрічці, розраховувалося середнє динамічне значення вологості всієї вугільної шихти, одночасно з цим також зупинявся конвеєр Y-2-3 (після дробарки) і перед вугільної вежею конвеєр Y-7-3 і проводився відбір вугільних проб на довжині стрічки 1 метр за усієї її шириною масою 80–100 кг безпосередньо з вищевказаних конвеєрів.

У табл. 4.13 наведені дані щодо зміни вмісту робочої вологи у вугільних шихтах, що надходять на бат. №9 ВПЦ-2 ПрАТ «АКХЗ», в процесі їх транспортування від силосів закритого складу вугілля до вугільної башти коксової батареї.

Склади вугільних шихт, а також основні показники їх якості в період експериментальних досліджень наведені в табл. 4.14 і 4.15.

Таблиця 4.13

Зміна вмісту робочої вологи в вугільних концентратах в процесі їх розвантаження

Постачальник	Марка	Робоча волога, W^r_t , %		ΔW^r_t , %
		Після вагоноперекидача	Верх силосу	
Квітень (+4 °C)				
ЦЗФ «Щедрухінська»	<i>Г</i>	10,3	10,1	0,2
Toms Creek	<i>Ж</i>	7,4	7,1	0,3
ЦЗФ «Свято-Варваринська»	<i>К</i>	9,8	9,6	0,2
Розріз «Бачатський»	<i>К</i>	8,9	8,7	0,2
Середнє значення	—	—	—	0,2
Серпень (+23,5 °C)				
ш. «Усковська»	<i>ГЖ</i>	10,0	9,1	0,9
Carter Roag	<i>Ж</i>	7,8	7,0	0,8
Goonyella	<i>К</i>	7,8	7,3	0,5
ЗФ «Березівська»	<i>К</i>	10,1	8,7	1,4
Середнє значення	—	—	—	0,9

Таблиця 4.14

Марочний та компонентний склади вугільних шихт

Постачальник	Марка	Частка, %		
		квітень	червень	серпень
ЦЗФ «Добропільська»	<i>Г</i>	12,1	3,0	12,5
Розріз «Талдинський Західний»	<i>Г</i>	3,4	8,0	0,0
Розріз «Талдинський»	<i>Г</i>	3,9	5,0	7,5
ТОВ «Ресурс»	<i>Г</i>	0,0	4,0	3,0
Нају	<i>Г</i>	4,5	0,0	0,0
ЦЗФ «Краснолиманська»	<i>Ж</i>	3,0	1,0	0,0
Shoal Creek Coal	<i>Ж</i>	24,3	0,0	0,0
ЗФ «Свято-Варваринська»	<i>К</i>	21,1	23,0	22,5
ЗФ «Північна»	<i>К</i>	3,9	0,0	0,0
Teck Premuim	<i>К</i>	0,0	0,0	14,4
Peak Down North	<i>К</i>	0,0	4,0	0,0
Goonyellla	<i>К</i>	0,0	0,0	3,0
ЦЗФ «Березівська»	<i>К</i>	0,0	0,0	5,2
Розріз «Бачатський»	<i>К</i>	7,1	4,0	0,0
Toms Creek	<i>ВЛК</i> ¹	12,7	4,0	0,0
Rocklick	<i>ВЛК</i>	0,0	0,0	0,0
Wellmore	<i>ВЛК</i>	0,0	10,0	4,3
Carter Roag	<i>ВЛК</i>	0,0	23,0	24,6
Pocahontas	<i>НЛК</i> ²	4,0	11,0	3,00
Всього		100,0	100,0	100,0

¹ Високо леткий компонент² Низько леткий компонент

Показники якості вугільних компонентів і шихт

Постачальник	Марка	Технічний аналіз, %				y , мм	R_0 , %	V_t , %	I_o , %
		W_t^r	A^d	S_t^d	V^{daf}				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ЦЗФ «Добропільська»	Γ	9,8	6,1	1,48	38,5	12	0,78	72	3,65
Розріз «Талдинський Західний»	Γ	9,0	8,7	0,49	38,1	10	0,69	85	1,66
Розріз «Талдинський»	Γ	10,6	7,6	0,50	36,6	10	0,68	70	1,83
ТОВ «Ресурс»	$\Gamma Ж П$	7,5	7,7	0,48	37,2	11	0,70	78	1,43
Нају	Γ	8,4	4,4	0,73	39,4	13	0,66	96	1,30
ЦЗФ «Краснолиманська»	$\mathcal{K}$	9,4	8,7	2,12	34,6	20	0,95	86	4,45
Shoal Creek Coal	$\mathcal{K}$	9,5	9,9	0,70	31,6	20	1,02	84	3,10
ЗФ «Свято-Варваринська»	K	8,1	8,3	0,70	27,6	15	1,15	87	1,99
ЗФ «Північна»	K	8,9	9,1	0,51	24,8	16	1,17	55	2,20
Teck Premuim	K	9,1	9,2	0,51	26,9	15	1,10	74	1,69
Peak Downs North	K	9,9	10,7	0,64	23,3	16	1,34	85	1,27
Goonyella	K	7,9	9,2	0,46	24,9	16	1,20	74	0,99
ЦЗФ «Березівська»	K	8,4	9,4	0,40	25,2	11	1,07	52	2,37
Розріз «Бачатський»	K	8,3	8,1	0,34	23,8	10	1,15	58	1,99

Продовження табл. 4.15

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Toms Creek	<i>ВЛК</i>	7,2	7,3	0,93	34,5	21	0,91	83	2,25
Rocklick	<i>ВЛК</i>	7,2	7,9	0,93	33,7	24	0,94	82	2,17
Wellmore	<i>ВЛК</i>	6,5	7,8	0,93	32,8	22	1,02	80	2,55
Carter Roag	<i>ВЛК</i>	7,6	8,9	0,90	33,8	23	0,96	81	2,18
Pocahontas	<i>НЛК</i>	8,4	7,7	0,74	18,3	11	1,57	80	1,32
Шихта	Квітень	8,8	8,1	0,82	31,5	15,8	1,00	80,0	2,50
	Червень	8,4	8,4	0,78	30,5	16,5	1,04	80,0	2,02
	Серпень	8,7	8,3	0,74	30,7	15,5	1,00	78,0	2,20

Таблиця 4.16

Вміст робочої вологи в вугільних шихтах в процесі їх підготовки

Дата	Температура, °C	Робоча волога, W^r_t , %					ΔW^r_t , %
		Нитка, навантаження, т/год		Розрахункова до дроблення	Після дроблення	Перед вугільної баштою	
		А	Б				
Квітень	+4	8,9/234	8,7/366	8,8/600	8,8	8,8	0,00
Квітень	+4	8,8/264	8,6/336	8,7/600	8,8	8,7	0,10
Середнє							0,1
Червень	25,5	8,5/240	8,3/360	8,38	8,2	7,7	0,68
Серпень	23,5	7,5/228	8,8/372	8,31	8,1	7,6	0,71
Середнє							0,7

В табл. 4.16 наведені дані щодо вмісту вологи в вугільних шихтах в процесі їх підготовки.

Результати визначення вологості проб вугільних шихт, виконаного в квітні, показав, що вологість вугільної шихти в процесі її підготовки практично не змінюється ($\Delta W_t = 0,1 \%$).

Результати визначення вологості проб вугільних шихт влітку показали, що втрата вологи склала $\sim 0,7 \%$: $0,68 \%$ в червні і $0,71 \%$ в серпні.

4.2.3 Розрахунок економічної ефективності виконаного дослідження

Випаровування вологи під час переробки вугілля у вуглепідготовчому цеху (розвантаження та транспортування вугілля + дроблення та транспортування вугільної шихти) дозволяє знизити робочу вологість отримуваної шихти в теплу пору року в середньому на $1,6 \%$, а в холодну пору року – в середньому на $0,3 \%$. Тобто, в середньому за рік зниження вологості шихти складатиме $0,95 \%$, або $9,5 \text{ кг}$ на тонну шихти.

Це дозволяє знизити кількість корисного тепла, потрібного на випаровування вологи з 1 т шихти [76]:

$$9,5 \times (2,026 \times 650 + 2491 - 4,19 \times 20) = 35379 \text{ кДж/т.} \quad (4.2)$$

Тут $2,026$ – питома теплоємність водяної пари в $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ за середньої температури 650°C , з якою водяна пара залишає камеру коксування; 2491 – питома теплота випаровування води, кДж/кг ; $4,19$ – питома теплоємність води в $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ за початкової температури шихти, що завантажується до камери коксування, прийнятої на рівні 20°C .

Фактична економія тепла буде більшою з урахуванням теплотехнічного коефіцієнту корисної дії коксових печей (в середньому для печей ПВР конструкції ДП «ГИПРОКОКС» $73,1 \%$ [77]):

$$\frac{35379}{73,1} \times 100 = 48398 \frac{\text{кДж}}{\text{т}}. \quad (4.3)$$

Це, в свою чергу, дає можливість скоротити витрату коксового газу на коксування шихти на:

$$\frac{48398}{16760} = 2,89 \frac{\text{м}^3}{\text{т}}. \quad (4.4)$$

Тут 16760 кДж/м^3 – прийняте в теплотехнічних розрахунках [78] середнє приведенє значення нижчої теплоти спалювання коксового газу (4000 ккал/м^3).

За виробництва 1 млн т сухого коксу валового на рік загальна економія коксового газу в натуральних одиницях становитиме:

$$2,89 \times 1000 \times 1,33 = 3841 \text{ тис м}^3. \quad (4.5)$$

Тут 1,33 – витратний коефіцієнт сухої шихти кам'яновугільної на виробництво сухого коксу валового, т/т, що відповідає виходу сухого коксу валового від сухої шихти 75,0 %.

У вартісному виразі економія коксового газу на опалення коксових печей складатиме:

$$3841 \times 15563 = 59777483 \text{ грн.} \quad (4.6)$$

Тут 15563 – ціна коксового газу, що передається з коксохімічного виробництва на металургійні переділи ПрАТ «МК «АЗОВСТАЛЬ», грн./1000 м³.

Таким чином, практичне використання отриманих результатів дає можливість внаслідок зниження робочої вологості шихти зекономити коксовий газ для опалення коксових печей. Для виробництва 1 млн т валового коксу ця економія становитиме 3,841 млн м³ газу, або близько 59,8 млн грн.

ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 4

1. Змерзання частинок починається при вмісті в них вологи, що перевищує значення максимальної вологоємності. У свою чергу, величина максимальної вологоємності залежить від ступеня метаморфізму і в діапазоні коксівного вугілля має максимальні значення у малометаморфізованого вугілля газової групи.

З урахуванням того, що максимальними значеннями вологоємності характеризується малометаморфізоване вугілля газової групи, це вугілля може перебувати менший час в гаражі розморожування в порівнянні з іншим коксівним вугіллям.

2. Зі зниженням температури ступінь змерзання вугілля збільшується з підвищенням його вологості і зниженням крупності частинок.

3. Методами математичної статистики було отримано рівняння, що описує зміну маси вугілля при його розморожуванні в залежності від вмісту в ньому вологи, середнього діаметра його частинок і часу перебування в гаражі розморожування. Це рівняння дозволяє оцінити зниження маси вугілля в процесі розморожування в залежності від показників його якості та умов перебування в гаражі розморожування.

4. Втрата вологи у вугільних концентратах при їх транспортуванні суттєво залежить від температури навколишнього середовища: чим вище температура, тим більше втрачається вологи, і навпаки. Встановлено, що розвантаження і транспортування вугілля з силосу закритого складу вугілля супроводжується втратою $\sim 0,9$ % вологи при температурі навколишнього середовища $23,5^{\circ}\text{C}$ і $\sim 0,2$ % при температурі $+4^{\circ}\text{C}$.

5. При дробленні і транспортуванні вугільної шихти в вугільну башту коксової батареї, зміна її фактичної ваги складає $\sim 0,1$ % при температурі навколишнього середовища, рівній $+4^{\circ}\text{C}$ і $0,7$ % при температурі навколишнього середовища, рівній $+23,5\div 25,5^{\circ}\text{C}$.

6. Практичне використання отриманих результатів дає можливість внаслідок зниження робочої вологості шихти зекономити коксовий газ для опалення коксових печей. Для виробництва 1 млн т валового коксу ця економія становитиме 3,841 млн м³ газу, або близько 59,8 млн грн.

РОЗДІЛ 5

ВПЛИВ ВОЛОГИ НА СИПКІСТЬ ВУГІЛЬНОЇ ШИХТИ

5.1 Теоретичні дані

Відомо, що схема підготовки вугілля до коксування впливає на якість одержуваного доменного коксу і техніко-економічну ефективність всього коксохімічного виробництва в цілому [79–81].

В даний час застосування технології трамбування вугільних шихт при виробництві доменного коксу отримує великий розвиток, як за кордоном, так і в Україні [82, 83].

Разом з тим відсутні науково-обґрунтовані рекомендації в частині використання матеріалів для футерування жолобів вуглепідготовчих трактів, перевантажувальних вузлах і у вугільній башті задля запобігання зависання вугільної шихти, яка має підвищену вологу.

Зокрема, в роботі [84] зазначено, що через тонкий рівень (91 ± 1 %) помелу і високу (11,0–11,5 %) вологість вугільної шихти в умовах вуглепідготовчого цеху КХВ ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» має місце поганий її схід по жолобах об'єктів шихтоподачі і вугільної башти. Встановлено, що застосування максимально можливих нормативних кутів нахилу жолобів (60–65 °) не забезпечує надійного сходу шихти.

З огляду на викладене, було доцільним проведення спеціальних досліджень, спрямованих на вивчення впливу сировинних (склад шихти, її вологість і гранулометричний склад) і технологічних (тип конструкційного матеріалу, продуктивність вугільних конвеєрів, висота і кут падіння вугільної шихти на жолоб) чинників підготовки вугільної шихти на можливість її «залипання».

На підставі отриманих результатів можна буде рекомендувати науково-обґрунтовані величини кутів нахилу жолобів для запобігання залипанню вугільної шихти в жолобах.

Необхідно відзначити, що в тимчасових нормах технологічного проектування збагачувальних фабрик [85] наведено рекомендовані кути нахилів жолобів для вугілля марок «Д» і «Г» (табл. 5.1), а також «Ж», «К» і «ПС» (табл. 5.2).

На рис. 5.1 і 5.2 наведені графічні залежності між рекомендованими величинами кутів нахилів жолобів і середнього діаметру вугілля, а в табл. 5.3 математичні рівняння, що їх описують.

Таблиця 5.1

Рекомендовані кути нахилів жолобів для вугілля марок «Д» і «Г»

Клас (середній діаметр), мм	Кути нахилу, градуси ³ , при вологості	
	До 7 %	Более 7 %
0–100 (50,0)	41–45 (43)	45–50 (47,5)
50–100 (75,0)	25–30 (27,5)	25–30 (27,5)
25–50 (37,5)	30–35 (32,5)	35–40 (37,5)
13–25 (19,0)	35–40 (37,5)	40–45 (42,5)
0–25 (12,5)	50–55 (52,5)	55–60 (57,5)
0–13 (6,5)	50–55 (52,5)	55–60 (57,5)
0–6 (3,0)	55–60 (57,5)	60–65 (62,5)
0–1 (0,5)	75–80 (77,5)	80–85 (82,5)

Таблиця 5.2

Рекомендовані кути нахилів жолобів для вугілля марок «Ж», «К» і «ПС»

Клас (середній діаметр), мм	Кути нахилу, градуси, при вологості	
	До 7 %	Более 7 %
0–100 (50,0)	45–50 (47,5)	50–55 (52,5)
0–25 (12,5)	50–55 (52,5)	55–60 (57,5)
0–13 (6,5)	50–55 (52,5)	55–60 (57,5)
0–1 (0,5)	75–80 (77,5)	80–85 (82,5)

³ Інтервал та середнє значення

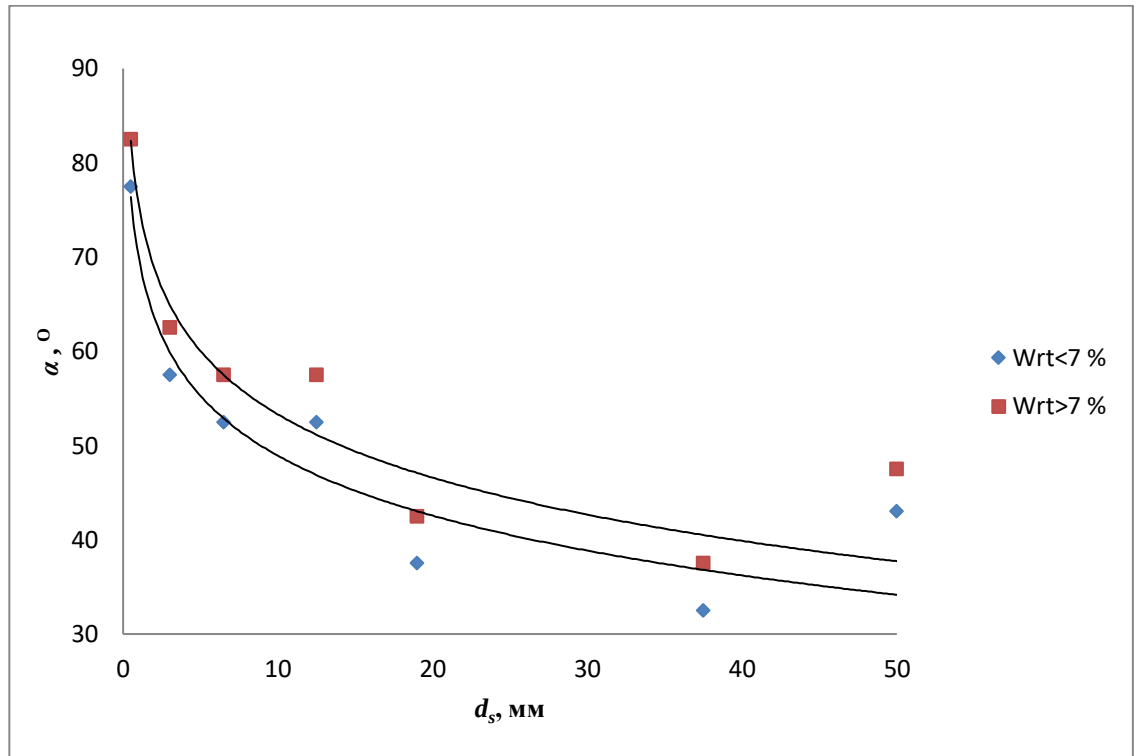


Рис. 5.1 – Графічна залежність між рекомендованими величинами кутів нахилів жолобів і середнім діаметром вугілля марок «Д» і «Г»

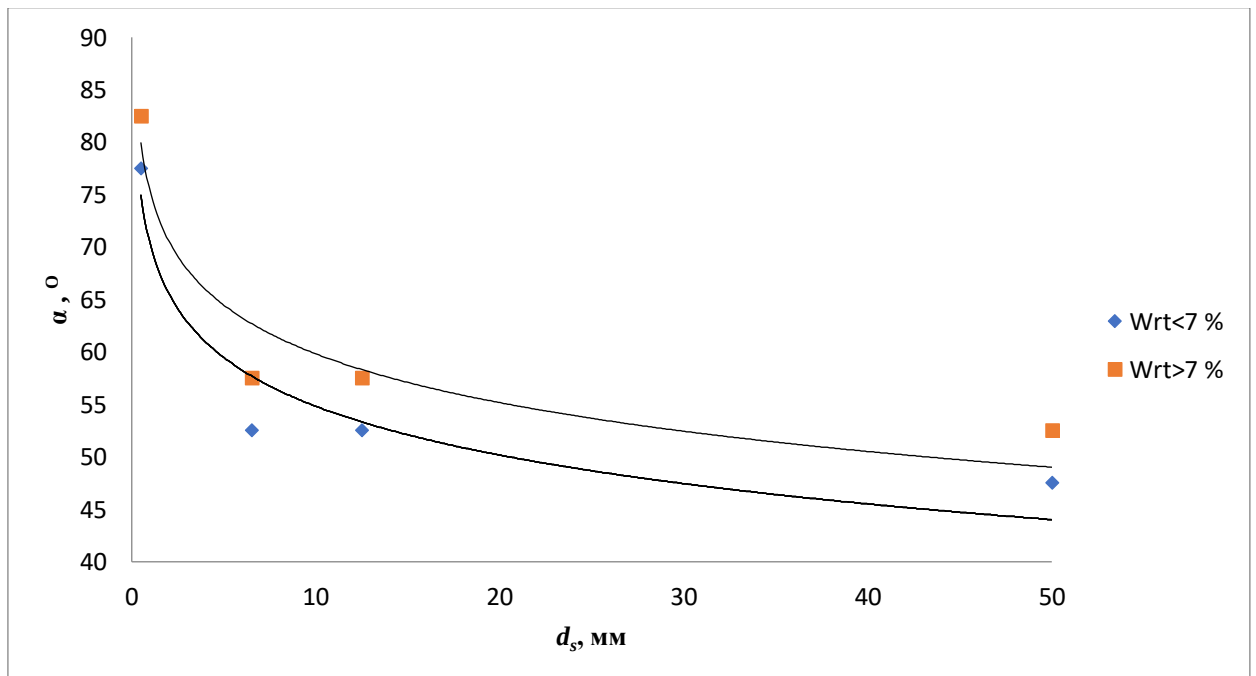


Рис. 5.2 – Графічна залежність між рекомендованими величинами кутів нахилів жолобів і середнім діаметром вугілля марок «Ж», «К» і «ПС»

Математичні рівняння і статистична оцінка

№	Марка вугілля	W_t , %	Вид рівняння	R^2
5.1	«Д», «Г»	<7	$\alpha = -9,164 \ln(d_s) + 70,015$	0,90
5.2		>7	$\alpha = -9,686 \ln(d_s) + 75,606$	0,90
5.3	«Ж», «К»,	<7	$\alpha = -6,715 \ln(d_s) + 70,286$	0,92
5.4	«ПС»	>7	$\alpha = -6,715 \ln(d_s) + 75,286$	0,92

Аналізуючи наведені графічні і математичні логарифмічні залежності, можна зробити висновок, що:

1. Збільшення вологості вугілля призводить до зростання величин рекомендованих кутів нахилів жолобів;
2. Збільшення середнього діаметра вугілля призводить до зниження величин рекомендованих кутів нахилів жолобів;
3. Збільшення ступеня метаморфізму приводить до збільшення величин рекомендованих кутів нахилів жолобів. При цьому вплив кожного з факторів практично не залежить від дії інших.

5.2 Експериментальні дані

Для визначення впливу сировинних і технологічних факторів, що впливають на швидкість руху вугільних шихт реальних складів по жолобах вуглепідготовчого цеху коксохімічних підприємств у разі використання технології трамбування були обрані 2 варіанти вугільних шихт (табл. 5.4), що відрізняються:

- варіант 1 – підвищеним вмістом вугілля газової групи (55 %);
- варіант 2 – підвищеним вмістом вугілля марок «КС» і «КП» (35 %).

Результати досліджень технологічних властивостей, петрографічної характеристики і гранулометричного складу вугільних концентратів наведені в табл. 5.5–5.7. У табл. 5.5 наведені також результати визначення розмолотості згідно Хардгроу.

Марочний і компонентний склади вугільних шихт

Марка	Участь у шихті, %	
	Варіант 1	Варіант 2
<i>Г</i>	25	20
<i>ГЖП</i>	30	20
<i>Ж</i>	25	25
<i>КС</i>	10	20
<i>КП</i>	10	15
Всього	100	100

Аналізуючи наведені в табл. 5.5–5.7 дані, можна констатувати, що відібрані проби вугілля відповідають прийнятим для них показниками якості.

Показники технологічних властивостей і петрографічна характеристика вугільних шихт, складених відповідно до табл. 5.4, наведені в табл. 5.8 і 5.9.

Внаслідок підвищеного вмісту газового вугілля в варіанті 1, шихта цього варіанту має більш високе значення виходу летких речовин (33,8 %) в порівнянні з шихтою вар. 2 (31,3 %).

В рамках виконаного дослідження варіювалися наступні показники:

1. Вологість вугільної шихти коливалася від 10 до 12 %;
2. Вміст класу 0–3 мм змінювалося від 90 до 94 %;
3. Продуктивність конвеєрів коливалося від 250 до 350 т/год;
4. Кут нахилу жолоба, виготовленого зі Ст.3, змінювався від 65 до 80 °.

У таблиці 5.10 наведені дані, що показують можливість «залипання» (+) чи «незалипання» (-) поверхні конструкційного листа, розташованого під різним кутом, при використанні різних варіантів вугільної шихти, яка характеризується різними рівнями вологості, гранулометричного складу, при її різному навантаженні.

Технологічні властивості дослідженого вугілля

Постачальник	Марка	Технічний аналіз, %			Пластометричні показники, мм		Показник окиснення, °С	Коефіцієнт розмолотності згідно Хардгроу, од.
		A^d	S_t^d	V^{daf}	x	y	Δt	HGI
Ш/у «Талдинський розріз»	Γ	8,1	0,49	37,9	30	10	6	52
ТОВ «Ресурс»	$\Gamma ЖП$	7,3	0,36	37,4	35	13	3	57
ЗФ «Щедрухінська»	$\mathcal{J}$	8,9	0,70	34,8	30	27	5	58
ТОВ «Барзаське товариство»	$КС$	9,4	0,27	19,5	24	9	2	69
ЗФ «Березівська»	$КП$	9,4	0,34	24,6	31	10	6	71

Таблиця 5.6

Петрографічні характеристики дослідженого вугілля

Постачальник	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					
		<i>V_t</i>	<i>S_v</i>	<i>I</i>	<i>L</i>	ΣOK	<i>R₀</i>	<i>ДГ+Г</i>	<i>ГЖП+ГЖ</i>	<i>Ж</i>	<i>К</i>	<i>ПС</i>	<i>П</i>
Ш/у «Талдинський розріз»	<i>Г</i>	91	0	7	2	7	0,64	100	0	0	0	0	0
ТОВ «Ресурс»	<i>ГЖП</i>	75	1	23	1	24	0,68	100	0	0	0	0	0
ЗФ «Щедрухінська»	<i>Ж</i>	88	0	10	2	10	0,95	0	20	80	0	0	0
ТОВ «Барзаське товариство»	<i>КС</i>	24	1	75	0	76	1,19	0	0	52	48	0	0
ЗФ «Березівська»	<i>КП</i>	39	1	59	1	60	1,05	0	10	84	6	0	0

Таблиця 5.7

Гранулометричний склад досліджених вугілля

Постачальник	Марка	Гранулометричний склад (мм), %									Середній діаметр частинок, мм
		>50	50–25	13–25	6–13	3–6	1–3	0,5–1	<0,5	<3	d_s
Ш/у «Талдинський розріз»	<i>Г</i>	0,0	0,0	3,2	12,6	20,4	24,0	12,8	27,0	63,9	3,36
ТОВ «Ресурс»	<i>ГЖП</i>	0,0	7,3	15,1	20,5	17,0	15,5	7,0	17,6	40,1	8,73
ЗФ «Щедрухінська»	<i>Ж</i>	0	3,5	9,7	18,6	20,4	17,6	8,5	21,7	47,8	6,31
ТОВ «Барзаське товариство»	<i>КС</i>	5,2	12,2	9,6	13,2	12,6	13,7	6,4	27,2	47,2	12,24
ЗФ «Березівська»	<i>КП</i>	4,6	14,0	6,7	12,9	12,2	13,9	7,8	28,0	49,6	11,90

Технологічні властивості вугільних шихт

Варіант	Технічний аналіз, %			Пластометричні показники, мм	
	A^d	S_t^d	V^{daf}	х	у
1	8,3	0,47	33,8	24	14
2	8,6	0,45	31,3	22	14

Таблиця 5.9

Петрографічна характеристика вугільних шихт

Варіант	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
1	74	0	25	1	25	0,83	55	6	34	5	0	0
2	65	1	32	1	33	0,90	40	7	43	10	0	0

Таблиця 5.10

Можливість «залипання» поверхні конструкційного листа

Варіант шихти	$W_t^r=10\%$				$W_t^r=11\%$				$W_t^r=12\%$			
	$\alpha = 65^\circ$	$\alpha = 70^\circ$	$\alpha = 75^\circ$	$\alpha = 80^\circ$	$\alpha = 65^\circ$	$\alpha = 70^\circ$	$\alpha = 75^\circ$	$\alpha = 80^\circ$	$\alpha = 65^\circ$	$\alpha = 70^\circ$	$\alpha = 75^\circ$	$\alpha = 80^\circ$
Навантаження 250 т/год, помел 90 %												
1	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
Навантаження 350 т/ч, помел 90 %												
1	+	+	-	-	+	-	-	-	+	+	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Навантаження 250 т/ч, помел 94 %												
1	+	-	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-
2	+	-	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-
Навантаження 350 т/ч, помел 94 %												
1	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-
2	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-

Згідно з отриманими даними можна констатувати наступне:

1. При $W_t=10\%$, «залипання» вугілля не спостерігається при куті нахилу, що становить $75-80^\circ$. При куті нахилу, який дорівнює 70° , «залипання» спостерігається при навантаженні 350 т/год для варіанту № 1 при помелі 90 та 94 %, а для вар. 2 при помелі лише 94 %. При куті нахилу 65° «залипання» не спостерігається лише для вар. №2 вугільної шихти при помелі 90 %.

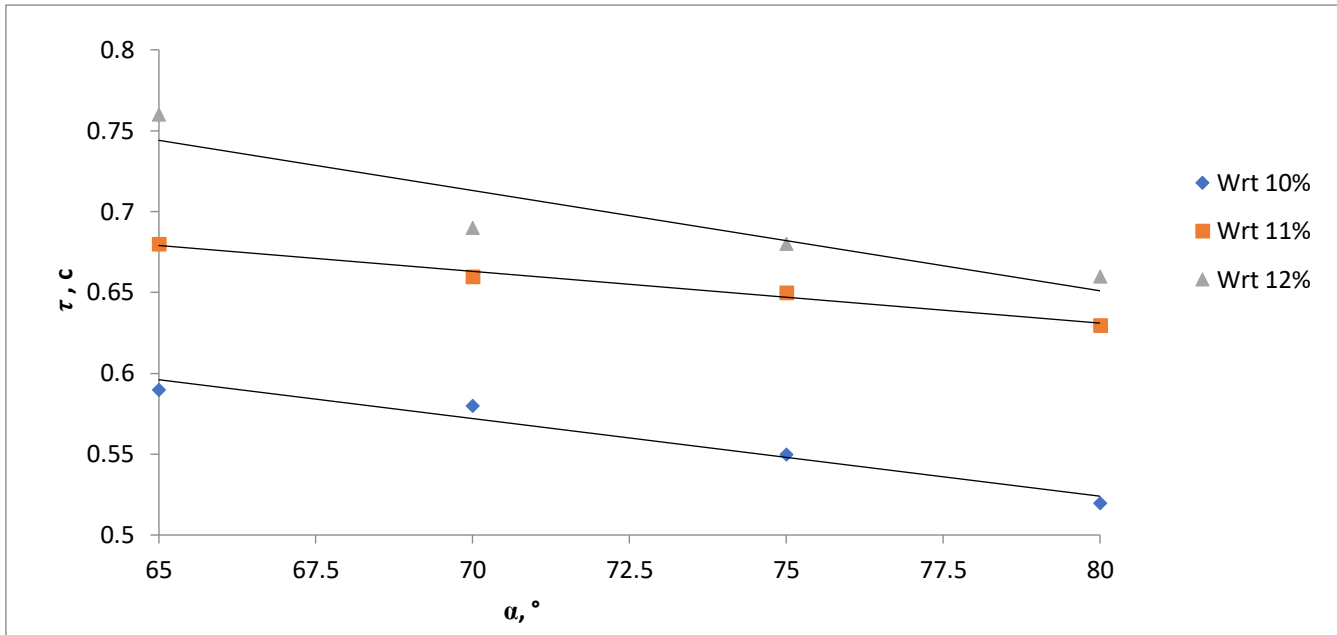
2. При $W_t=11\%$, «залипання» вугілля не спостерігається при куті нахилу, що становить $75-80^\circ$. При куті нахилу, який дорівнює 70° , «залипання» спостерігається при помелі 94 %. При куті нахилу 65° «залипання» не спостерігається лише для варіанту №2 вугільної шихти при навантаженні 250–350 т/год і помелі 90 %.

3. При $W_t=12\%$, «залипання» вугілля не спостерігається при куті нахилу, що становить $75-80^\circ$. При куті нахилу, який дорівнює 70° , «залипання» не спостерігається при помелі 90 % та навантаженні 250 т/год та при помелі 90 % та навантаженні 350 т/год для шихти вар. 2. При куті нахилу 65° «залипання» не спостерігається лише для вар. №2 вугільної шихти при навантаженні 350 т/год і помелі 90 %.

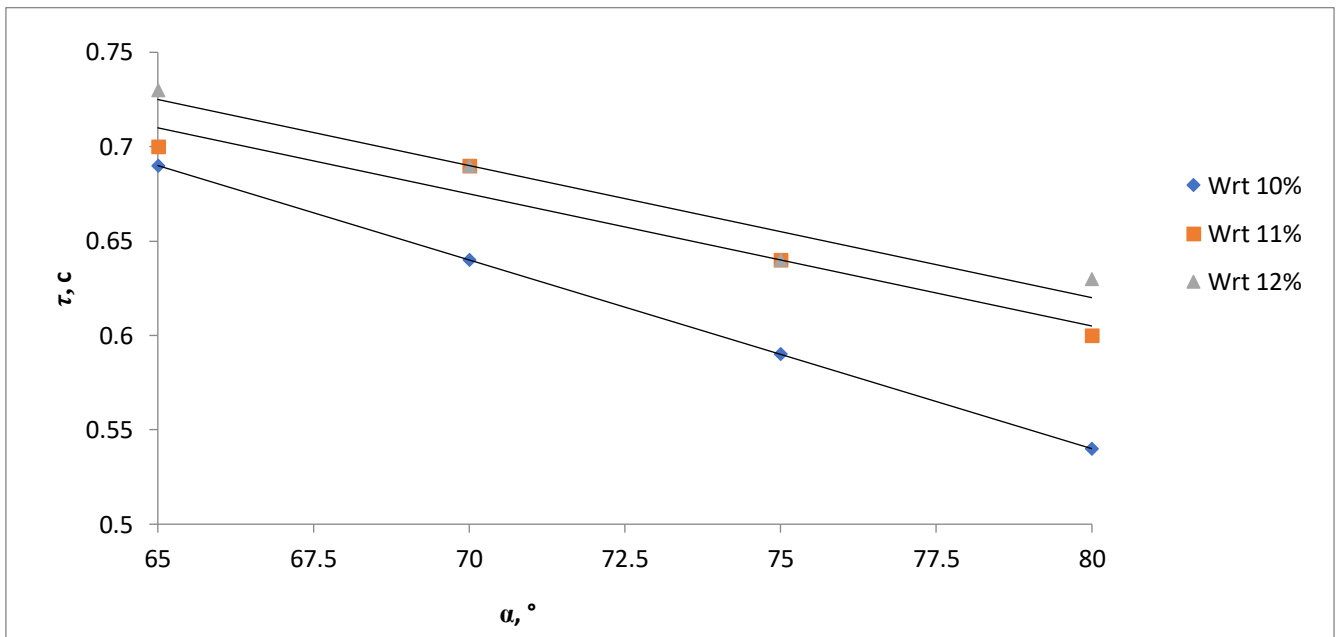
Отже, кут, рівний $75-80^\circ$, можна розглядати як безпечний з точки зору відсутності «залипання» будь-якого варіанту вугільної шихти, будь-якої вологості та помелу.

Для наочності сприйняття отриманих результатів були побудовані графічні залежності (рис. 5.3–5.5) тривалості руху вугільної шихти конструкційним листом в залежності від кута його нахилу за різних рівнів вологості, вмісту класу 0–3 мм, продуктивності конвеєрів і висоти падіння шихти на лист.

Внаслідок того, що для шихти вар. 2 за помелу 90 %, вміст вологи, кут нахилу і продуктивність не чинили впливу на тривалість руху шихти, графічні залежності в цьому випадку не будувалися.

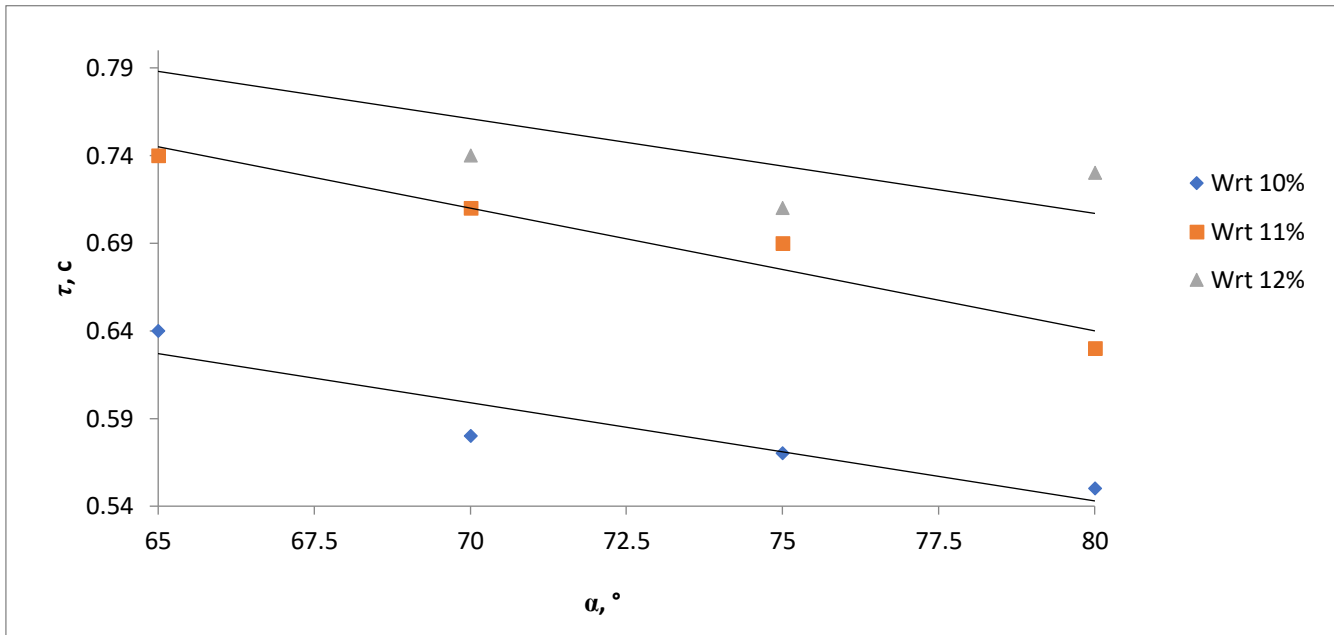


а) навантаження 250 т/год

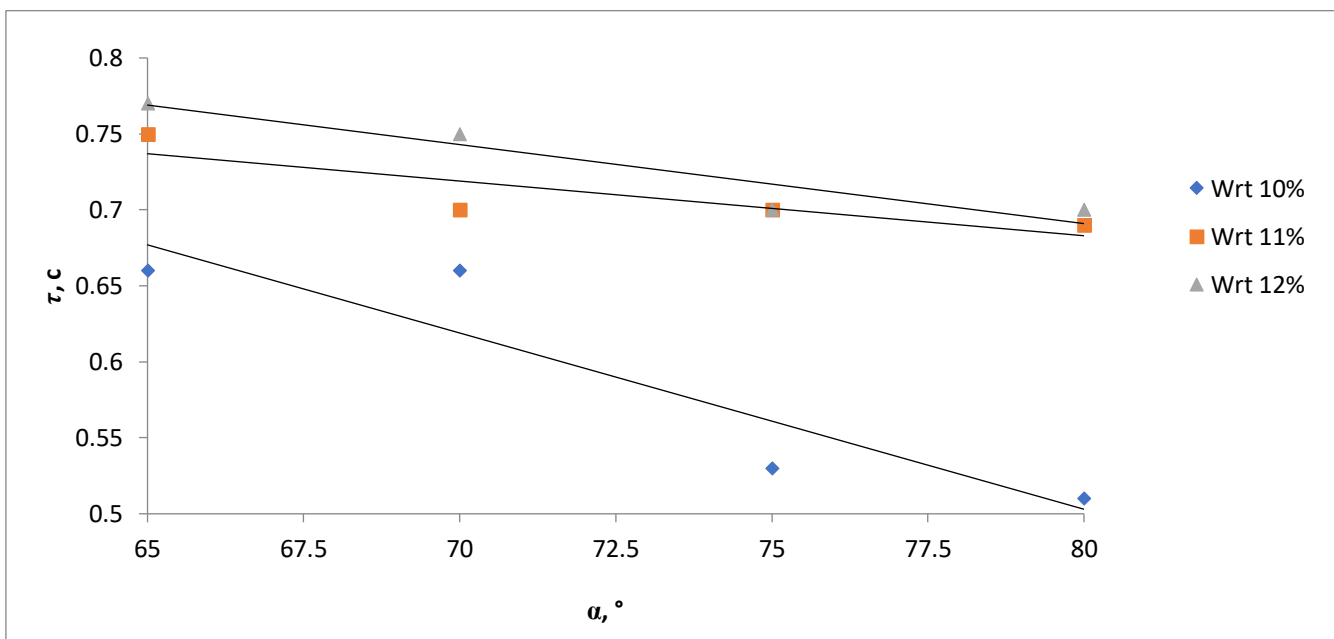


б) навантаження 350 т/год

Рис. 5.3 – Графік залежності τ від кута нахилу поверхні
(варіант 1, висота падіння шихти 0,5 м, помел 90 %)

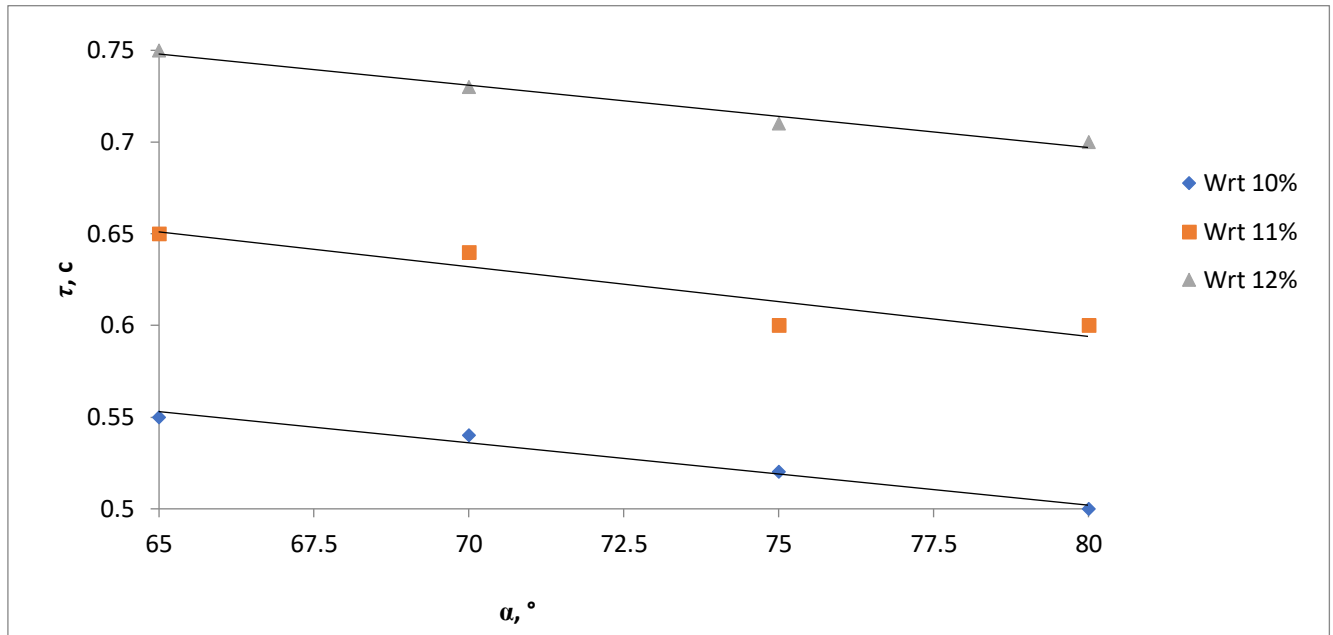


а) навантаження 250 т/год

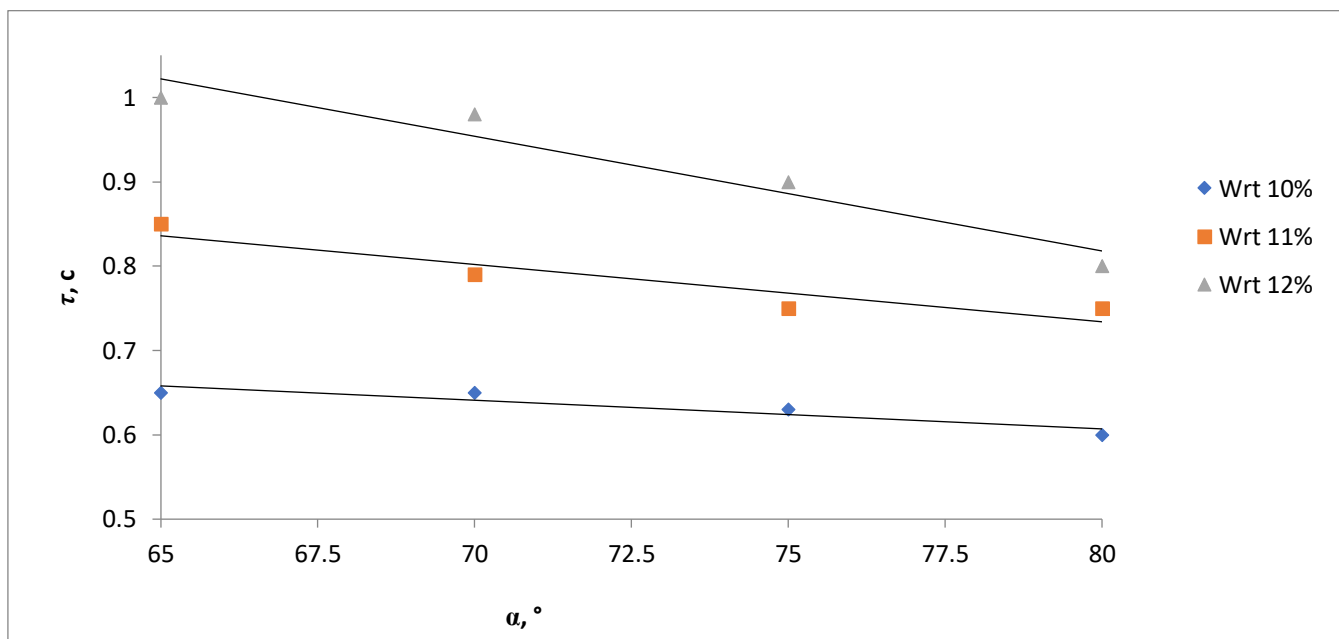


б) навантаження 350 т/год

Рис. 5.4 – Графік залежності τ від кута нахилу поверхні
(варіант 1, висота падіння шихти 0,5 м, помел 94 %)



а) навантаження 250 т/год



б) навантаження 350 т/год

Рис. 5.5 – Графік залежності τ від кута нахилу поверхні
(варіант 2, висота падіння шихти 1,5 м, помел 94 %)

Виходячи з наведених залежностей, можна сформулювати, що збільшення вмісту води в шихті, вмісту в ній частинок розміром 0–3 мм, а також збільшення навантаження конвеєрів однозначно призводить до

збільшення тривалості руху шихти, тобто зниження швидкості її руху по конструкційному листу, аж до виникнення залипання.

У таблиці 5.11 наведені математичні залежності, що показують вплив різних чинників на час сходу вугільної шихти по конструкційному листу.

Таблиця 5.11

Математичні залежності і статистична оцінка

№	Варіант шихти	Вид рівняння ⁴
(5.5)	1	$\tau = -0,3427 + 0,06125 \cdot W_t^r + 0,00005 \cdot N + 0,00857 \cdot (\Sigma Z - 0) - 0,00653 \cdot \alpha$
(5.6)	2	$\tau = -4,9510 + 0,04125 \cdot W_t^r + 0,00078 \cdot N + 0,05552 \cdot (\Sigma Z - 0) - 0,00315 \cdot \alpha$

⁴ N – навантаження на стрічку, т/год; α – кут нахилу конструкційного листа, °.

ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 5

1. Аналіз тимчасових норм технологічного проектування збагачувальних фабрик показав, що відома залежність між середнім діаметром вугілля в інтервалі від 0,5 до 75,0 мм і рекомендованими кутами нахилу жолобів носить логарифмічний характер.

2. Показано, що збільшення вологості і зниження середнього діаметра вугілля призводить до зростання величин рекомендованих кутів нахилів жолобів, а збільшення ступеня метаморфізму вугілля також призводить до збільшення величин рекомендованих кутів нахилів жолобів. Зазначені фактори діють незалежно.

3. На підставі обробки експериментальних даних встановлена можливість залипання поверхні конструкційного листа, розташованого під різним кутом, при використанні різних варіантів вугільної шихти, яка характеризується різним рівнем вологості, гранулометричного складу зі різної продуктивності за шихтою.

4. Показано, що при використанні технології трамбування вугільних шихт, збільшення вмісту води в шихті з 10 до 12 %, вмісту в ній частинок розміром 0–3 мм з 90 до 94 %, а також збільшення навантаження конвеєрів (з 250 до 350 т/год) однозначно призводить до збільшення тривалості руху шихти, тобто зниження швидкості її руху по конструкційному листі, аж до виникнення залипання.

Головна причина цього – збільшення внутрішнього тертя у вологому вугіллі, що рухається жолобом, через вже відзначену в наступних розділах більшу кількість утворюваних водневих зв'язків за участю молекул води та вугільних макромолекул, що інтенсифікують когезійні взаємодії у вугільному засипу, який рухається жолобом.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. В роботі вирішено важливе науково-практичне завдання, яке характеризується науковою новизною і має практичне значення, а саме – визначення раціональних умов підготовки шихти до коксування в залежності від її вологості.

2. Встановлено, що при збільшенні вологості вугільних концентратів від 7,3 до 14,4 % їх насипна щільність зростає на 5,7–11,1 кг/м³ на 1 % збільшення вологості в залежності від способу її вимірювання.

3. Доведено, що вугільні шихти характеризуються мінімальною насипною щільністю при вологості, рівній 7,1 %. Зниження або збільшення вологості вугільних шихт в інтервалі від 4 до 12 % призводить до зростання їх насипної щільності.

4. Вперше показано, що при збільшенні вологості вугільних шихт до 12 % відбувається різке зниження вмісту в них класу менше 0,5 мм. Ця обставина має місце внаслідок огрудкування дрібних вугільних класів, що виражається в збільшенні величини їх середнього діаметра. За подальшого збільшення вологості насипна щільність зростає головним чином внаслідок щільнішого пакування вугільних зерен в засипу через їх взаємне ковзання та утворення водневих зв'язків.

5. Встановлено, що зміна маси вугілля при його розморожуванні залежить від вмісту в ньому води, середнього діаметра його частинок і часу перебування в гаражі розморожування.

6. Втрата води у вугільних концентратах при їх транспортуванні суттєво залежить від температури навколишнього середовища: чим вища температура, тим більше втрачається води, і навпаки. Встановлено, що розвантаження і транспортування вугілля з силосу закритого складу вугілля супроводжується втратою ~0,9 % води при температурі навколишнього середовища 23,5 °C і ~0,2 % при температурі +4 °C. При дробленні і

транспортуванні вугільної шихти в вугільну башту коксової батареї, зміна її фактичної ваги складає $\sim 0,1$ % при температурі навколишнього середовища, рівній $+4$ °C і $0,7$ % при температурі навколишнього середовища, рівній $+23,5 \div 25,5$ °C.

7. Вперше показано, що збільшення вмісту води в шихті з 10 до 12 %, вмісту в ній частинок розміром $0-3$ мм з 90 до 94 %, а також збільшення продуктивності роботи конвеєрів (з 250 до 350 т/год) однозначно призводить до збільшення тривалості руху шихти, тобто зниження швидкості її руху по жолобу, аж до виникнення залипання.

8. На підставі обробки експериментальних даних встановлена можливість залипання вугілля на поверхні жолоба, розташованого під різним кутом, при використанні різних варіантів вугільної шихти, яка характеризується неоднаковими вологістю, гранулометричним складом за різної продуктивності транспортування вугілля.

9. Розроблено проект інструкції з обліку залишків вугільних концентратів у силосах дозувального відділення і на відкритому складі вугілля вуглепідготовчого цеху ПРАТ «ЗАПОРІЖКОКС».

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Старовойт А.Г., Горбенко В.В. Итоги работы коксохимических предприятий и производств Украины в 2020 г. – Днепр: УНПА «Укркокс». 2021. 67 с.
2. Августевич И. В., Сидорук Е. И., Броневец Т. М. Стандартные методы испытания углей. Классификация углей. – Москва: Реклама мастер, 2018. 576 с.
3. Balaeva Y. S., Miroshnichenko D. V., Kaftan Y. S. Predicting the classification characteristics of coal. Part 2. Maximum moisture content. *Coke and Chemistry*. 2015. Vol. 58 (12). P. 459–464.
4. Balaeva Y. S., Miroshnichenko D. V., Kaftan Y. S. Moisture-holding capacity of coals. *Solid Fuel Chemistry*. 2017. Vol. 51 (6). P. 337–348.
5. ДСТУ 7611:2014. Угли каменные. Метод определения окисленности и степени окисленности. – Київ: ДП «УкрНДНЦ». 2016. 8 с.
6. ГОСТ 8858–93 (ИСО 1018–75). Угли бурые, каменные и антрацит. Метод определения максимальной влагоемкости. – Київ: Госстандарт Украины. 1996. 15 с.
7. Kormer M.V., Shmeltser E.O., Lyalyuk V.P., Uchitel A.D., Liakhova I.A. Dependence of coal's freezing point on its granulometric composition. *Coke and Chemistry*. 2015. V. 58 (1). P. 9–14.
8. Кузниченко В. М., Балаева Я. С. Максимальная влагоемкость углей разных классов крупности. *Угледухимический журнал*. 2019. № 6. С. 8–13.
9. Balaeva Y. S., Miroshichenko D. V., Kaftan Y. S., Shmalko V. M. Relation between the maximum moisture content of coal and its porous structure. *Coke and Chemistry*. 2016. Vol. 59 (11). P. 407–410.
10. Мірошніченко Д. В., Балаєва Я. С., Кафтан Ю. С. Взаємозв'язок властивостей неокисненого вугілля з найвищою теплотою згорання та

максимальною вологоємністю – Харків: НТУ «ХП». ТОВ «Планета». 2019. 121 с.

11. Мірошніченко Д. В. Розвиток теорії і практики використання окисненого вугілля для виробництва доменного коксу. – Харків: НТУ «ХП». ТОВ «Планета». 2019. 312 с.

12. Uchitel' A.D., Kormer M.V., Lyalyuk V.P., Lyakhova I.A., Shmeltser E.O., Vivitnev Yu.I. Transportation of coal concentrates at negative ambient temperatures. *Coke and Chemistry*. 2013. Vol. 56 (5). P. 167–172.

13. Журавлев Н. П., Маликов О. Б. Транспортно-грузовые системы. Учебник для вузов. – Москва: УМНЦ. 2005. 629 с.

14. ДСТУ 7724:2015 Угли каменные для коксования. Технические условия. – Київ: ДП «УкрНДНЦ». 2016. 6 с.

15. ДСТУ 3472:2015. Угли бурые, каменные и антрацит. Классификация. – Київ: ДП «УкрНДНЦ». 2015. 4 с.

16. Das S.K., Nandy A.S., Paul A., Sahoo B.K., Chakraborty B., Das A. Coal blend moisture – a boon or bane in cokemaking? *Coke and Chemistry*. 2013. Vol. 56 (3). P. 126–136.

17. Bao J., Xue G., Chang H. Influence of coal charge moisture on coke-making process and coke quality. *Fuel Chem. Process*. 2010. Vol. 41 (3). P. 11–13.

18. Пин Цуй, Кэ-лин Цюй, Цян Лин и др. Влияние регулирования влажности и брикетирования угля на структуру и реакционную способность кокса. *Кокс и химия*. 2015. № 4. С. 23–31.

19. Гордиенко А. И., Редин В. А., Долгарев Г. В., Чаленко В.И., Вегеря И.Н. Опыт освоения и эксплуатации опытно-промышленной установки термической подготовки шихты на ОАО «Ясиновский коксохимический завод». *Угলেখимический журнал*. 2008. № 5–6. С. 15.

20. Грищенко С. Г. Гордиенко А.И., Саранчук В.И., Збыковский Е.И., Дудяк В.Н., Шевченко А.А. Производство видов высокорекреационного

недоменного кокса из термоподготовленных шихт на типовых батареях с горизонтальными печами и их испытания. *Углекислотный журнал*. 2008. № 5–6. С. 41–46.

21. Гордиенко А.И., Редин В.А., Долгарев Г.В., Чаленко В.И., Дудяк В.Н., Вегеря И.Н. Результаты освоения и эксплуатации опытно-промышленной установки термической подготовки шихты на ОАО «Ясиновский коксохимический завод». *Кокс и химия*. 2009. № 2. С. 30–36.

22. Васильев Ю. С., Гордиенко А. И., Долгарев Г. В. Опыт промышленного использования термической подготовки угольной шихты перед коксованием. *Кокс и химия*. 2008. № 7. С. 22–25.

23. Чаленко В. И., Бежин В. И., Дариенко В. Е., Шульга И. В. Особенности конструкции КБ № 4 (ПАО «Ясиновский КХЗ»), предназначенной для работы на влажной и термически подготовленной шихте (ТПШ). *Углекислотный журнал*. 2013. № 6. С. 43–49.

24. Васильев Ю. С., Гордиенко А.И., Долгарев Г.В., Лащенко И.Н., Дариенко Е.В., Чаленко В.И. Первая промышленная коксовая батарея с установкой термической подготовки шихты в Украине как способ повышения ресурсо- и энергоэффективности металлургической отрасли. *Углекислотный журнал*. 2010. № 3–4. С. 48–52.

25. Справочник коксохимика. В 6 т. Т. 1. Угли для коксования. Обогащение углей. Подготовка углей к коксованию / под общ. ред. Л. Н. Борисова, Ю. Г. Шаповала. – Харьков: Издательский дом «ИНЖЭК». 2010. 536 с.

26. Elliott M. A. Chemistry of coal utilization. Second supplementary Volume. – New York : John Wiley & Sons Inc. 1981. P.

27. Десна Н.А., Мірошніченко Д.В., Мірошніченко І.В., Мещанін В.І., Коваль В.В. Вплив вологості вугільної шихти на її насипну густину. *Вуглекислотний журнал*. 2021. №1. С. 10–19.

28. Tanaka S., Okanishi K., Kikuchi A., Yamamura Y. Operation of dry-cleaned and agglomerated precompaction system (DAPS). In: *Ironmaking Conference Proceedings*. 56, Warrendale, Pennsylvania: Iron Steel Soc. – Ironmaking Division. 1997. P. 139–142.
29. Miroshnichenko D.V. Influence of oxidation on the packing density of coal. *Coke and Chemistry*. 2014. Vol. 57 (5). P. 183–191.
30. Shulga I.V., Miroshnichenko I.V., Ryschenko I.M., Miroshnichenko D.V. Moisture content of wet-quenched coke. *Coke and Chemistry*. 2019. Vol. 62 (9). P. 402–407.
31. Miroshnichenko D.V., Desna N.A. Modification oof technical analysis for oxidized coal. *Coke and Chemistry*. 2014. Vol. 57 (9). P. 345–350.
32. Suarez-Ruiz I., Crelling J. C. Mining and beneficiation. In: Esterle JS. *Applied coal petrology*, Academic Press, Elsevier Ltd. 2008. P. 73–76.
33. Казьмина В. В., Никитина Т. Е. Тепловые процессы коксования. – Москва: Металлургия. 1987. 183 с.
34. Katayama T., Kobayashi T., Tanaka T. et al. Operation of coal moisture control equipment of coke oven batteries at Chiba Works. In: *48-th Ironmaking Conference*, 2–5 April, 1989. Chicago.
35. Филатов Ю.В., Ковалев Е.Т., Шульга И.В., Кауфман С.И., Коломийченко А.И. Теория и практика производства и применения доменного кокса улучшенного качества. – Киев: Наукова думка. 2011. 125 с.
36. Bannikov L., Miroshnichenko D., Pylypenko O., Pyshyev S., Fedevych O., Meshchanin V. Coke quenching plant corrosion and its dependents on the quality of the biochemically treated water of the coke-chemical production. *Chemistry and Chemical Technology*. 2022. Vol. 16. No. 2. P. 328–336.
37. ГОСТ 25543–2013 Угли бурые, каменные и антрациты. Классификация по генетическим и технологическим параметрам. – Москва: «Стандартинформ». 2016. 20 с.

38. ДСТУ ISO 562:2015 (ISO 562:2010, IDT) Вугілля кам'яне та кокс. Визначення виходу летких речовин. URL : <https://www.iso.org/standard/55943.html>

39. ДСТУ ISO 589:2015 (ISO 589:2008, IDT) Вугілля кам'яне. Визначення загальної вологості. URL : <https://www.iso.org/standard/45370.html>

40. ДСТУ 3528–97 (ГОСТ 8606–93) (ISO 334–92) Паливо тверде мінеральне. Визначення вмісту загальної сірки. Метод Ешка. – Київ: ДП «Держспожив-стандарт України», 1998. 9 с.

41. ДСТУ 4096–2002 Вугілля буре, кам'яне. Антрацит. Горючі сланці та вугільні брикети. Методи відбору та підготовки проб до лабораторних випробувань. – Київ: ДП «Держстандарт України», 2009. 12 с.

42. ДСТУ 7611:2014 Вугілля кам'яне. Метод визначення окиснення та ступеня окиснення. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016. 8 с.

43. ДСТУ 7722:2015 Вугілля кам'яне. Метод визначення пластометричних показників. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016. 18 с.

44. ДСТУ 8699:2016 (ISO 18283:2006, MOD; 18283:2006/Cor 1:2009, MOD) Вугілля кам'яне, антрацит і кокс. Відбирання проб вручну. – Київ: ДП «УкрНДНЦ». 67 с.

45. ДСТУ 8724:2017 Вугілля кам'яне та шихти на його основі. Метод визначення тиску розпирання, який виникає під час коксування. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2018. 12 с.

46. ДСТУ ISO 11722:2004 Паливо тверде мінеральне. Вугілля кам'яне. Визначення вологості у пробі для загального аналізу методом висушування в азоті. – Київ: ДП «Держспоживстандарт України», 2005. 6 с.

47. ДСТУ ISO 17246:2010 (ISO 17246:2010, IDT) Вугілля. Технічний аналіз. – Київ: ДП «Держспоживстандарт України», 2014. 4 с.

48. ГОСТ 2408.1–95 (ISO 625–96) Топливо твердое. Методы определения углерода и водорода. – Москва: ИПК Издательство стандартов, 2001. 20 с.

49. ГОСТ 2408.3–95 (ИСО 1994–76) Топливо твердое. Методы определения кислорода. – Москва: ИПК Издательство стандартов, 1996. 31 с.
50. ГОСТ 9414.3 (ИСО 7404–3–84) Уголь каменный и антрацит. Методы петрографического анализа. Часть 3. Метод определения групп мацералов. – Москва: ИПК Издательство стандартов, 1996. 10 с.
51. ГОСТ 11022–95 (ИСО 1171–97) Топливо твердое минеральное. Методы определения зольности. – Москва : ФГУП Стандартиформ, 2006. 6 с.
52. ГОСТ 12113–94 (ИСО 7404–5–85) Угли бурые, каменные, антрациты, твердые рассеянные органические вещества и углеродистые материалы. Метод определения показателей отражения. – Москва : Издательство стандартов, 1995. 20 с.
53. ГОСТ 17070 Угли. Термины и определения. – Москва: Государственный комитет СССР по стандартам, 1988. 22 с.
54. ГОСТ 27313–95 (ИСО 1170–77) Топливо твердое минеральное. Обозначение показателей качества и формулы пересчета результатов анализа для различных состояний топлива. – Москва: ИПК Издательство стандартов, 2003. 16 с.
55. ГОСТ 28743–93 (ISO 333–83) Топливо твердое минеральное. Методы определения азота. – Москва: ФГУП Стандартиформ, 2005. 10 с.
56. ИСО 23499:2008 Уголь. Определение насыпной плотности. – Москва : Стандартиформ. 2012. 6 с.
57. ДСТУ 4082–2002 Паливо тверде. Ситовий метод визначення гранулометричного складу. – Київ: ДП «УкрНДНЦ». 2002. 26 с.
58. ISO 5074:2015 (en) Hard Coal – Determination of Hardgrove grindability index. URL: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:5074:ed-3:v1:en>
59. ГОСТ 10538–87 Топливо твердое. Методы определения химического состава золы. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200024139>

60. ДСТУ 7123:2009 Лушпиння соняшнику. Технічні умови. – Київ: «Держспоживстандарт України», 2011. 8 с.

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

62. Скрипченко Н. П., Худокормов А.П., Косминский А.В., Суханов А.А., Мирошниченко Д.В., Мещанин В.И. Разработка метода определения насыпной плотности углей в УПЦ-2 ПАО «АКХЗ. *Угলেখимический журнал*. 2013. № 5. С. 23–27.

63. Дроздник И. Д., Мирошниченко Д.В., Ладыжинский В.М., Бессчастный Ю.В., Топоркова Н.И. Совершенствование схем подготовки углей в условиях межбассейновой сырьевой базы. *Угলেখимический журнал*. 2010. № 3–4. С. 17–24.

64. Бехтер А. А., Плохотников В.В., Корецкая Т.В., Ковалев Е.Т., Дроздник И.Д., Мирошниченко Д.В., Десна Н.А., Коваль В.В. Разработка практических рекомендаций по минимизации затрат электроэнергии на измельчение угля и уменьшению содержания класса менее 0,5 мм в измельченной шихте ЧАО «ЗАПОРОЖКОКС». *Угলেখимический журнал*. 2019. № 1. С. 12–23.

65. Войтенко Б. И., Чернышов Ю.А., Ермак Ю.А., Подлубный А.В., Дроздник И.Д., Мирошниченко Д.В., Кафтан Ю.В., Ладыжинский В.М., Бессчастный Ю.В. Совершенствование схемы подготовки угольной шихты на ОАО «ЗАПОРОЖКОКС». *Угলেখимический журнал*. 2009. № 1–2. С. 37–47.

66. Рубчевский В. Н., Гайдаенко А.С., Чернышов Ю.А., Ермак Ю.В., Бондаренко Е.В., Подлубный А.В., Постол С.Н., Дроздник И.Д., Мирошниченко Д.В., Десна Н.А. Анализ технологических свойств углей и оптимизация схемы их подготовки в условиях ПАО «ЗАПОРОЖКОКС». *Угলেখимический журнал*. 2015. №1. С. 3–11.

67. Miroshnichenko I. V., Miroshnichenko D. V., Shulga I. V., Balaeva Y. S. Calorific value of coke. 2. Influence of the Packing Density of coal batch. *Coke and Chemistry*. 2019. Vol. 62. P. 234–239.

68. Miroshnichenko I. V., Miroshnichenko D. V., Shulga I. V., Balaeva Y. S. Calorific value of coke. 3. Influence of Coal Storage. *Coke and Chemistry*. 2019. Vol. 62. P. 402–407.

69. Drozdniuk I. D., Miroshnichenko I. V., Fatenko S. V., Miroshnichenko D. V. Coking of batch with elevated gas-coal content at Azovstal Iron and steel Works. *Coke and Chemistry*. 2020. Vol. 63 (9). P. 415–422.

70. Еремин И. В., Лебедев В. В., Цикарев Д. А. Петрография и физические свойства углей. – Москва: Недра, 1980. 263 с.

71. Chemerinskiy M.S. Microwave defrosting of coal. *Coke and Chemistry*. 2014. Vol. 57 (5). P. 219–221.

72. Бродский Э. В., Бабицин С. М., Федоров А. П. Повышение эффективности конвективных гаражей размораживания. *Кокс и химия*. 1990. № 3. С. 4–6.

73. Зашквара В. Г., Возный Г. Ф., Байдалинов П. А. Смерзаемость углей и их разгрузка. *Кокс и химия*. 1966. № 1. С. 1–3.

74. Balaeva Y. S., Kaftan Y. S., Miroshnichenko D. V., Kotlyarov E. I. Influence of coal properties on the gross calorific value and maximum moisture content. *Coke and Chemistry*. 2018. Vol. 61 (1). P. 4–11.

75. Balaeva Y. S., Miroshnichenko D. V., Kafan Y. S. Moisture-holding capacity of coal. *Petroleum and coal*. 2017. Vol. 59 (3). P. 302–310.

76. Шульга І.В., Мірошніченко Д.В. Розрахунок і проектування обладнання вугледігготовчих та коксових цехів. – Харків: НТУ ХП, 2021.

77. Шульга И.В. Тепловые и гидравлические расчеты коксовых печей // Справочник коксохимика. 3-е изд. Т. 2. Производство кокса. Гл. 12. – Харьков: ИД ИНЖЭК, 2014.

78. Ковальов Є.Т., Шульга І.В. ДСТУ 4370:2011 Енергозбереження. Коксохімічне виробництво. Ресурси енергетичні вторинні. Методика визначення показників виходу та використання. – К.: УкрНДНЦ, 2012.

79. Miroshnichenko D. V. Influence of coal preparation and coking conditions on coke reactivity. *Coke and Chemistry*. 2009. Vol. 52 (2). P. 77–82.

80. Shmeltser E. O., Lyalyuk V. P., Sokolova V. P., Miroshnichenko D. V. The using of coal blends with an increased content of coals of the middle stage of metamorphism for the production of the blast furnace coke. Message 1. Preparation of coal blends. *Petroleum and Coal*. 2018. Vol. 60 (4). P. 605–611.

81. Miroshnichenko D. V., Vasilyev Y. S., Kaftan Y. S. Optimal preparation of oxidized coal. *Coke and Chemistry*. 2017. Vol. 60 (4). P. 133–139.

82. Романюк И. В., Сикан И.И., Мукина Н.В., Селин С.С., Дроздник И.Д., Мирошниченко Д.В. Особенности формирования и перспективы развития угольной сырьевой базы коксохимического производства КХП ПАО «АРСЕЛОРМИТТАЛ КРИВОЙ РОГ». *Угলেখимический журнал*. 2016. № 3. С. 12–17.

83. Demenko V. V. Innovations in Coal Preparation and Coke Sorting. *Coke and Chemistry*. 2019. Vol. 62 (7). P. 296–301.

84. Деменко В. В. Оценка эффективности проектных решений подготовки шихты и рассева кокса с технологией трамбования на коксовых батареях № 5, 6 ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог». *Угলেখимический журнал*. 2020. № 1. С. 11–16.

85. ВНТП 3–92. Временные нормы технологического проектирования обогатительных фабрик. – Москва: Центрогипрошахт, 1992. 182 с.

Наукове видання

МЕЩАНІН Валерій Іванович
МІРОШНИЧЕНКО Денис Вікторович
ПИШ'ЄВ Сергій Вікторович

**ВПЛИВ ВОЛОГИ ВУГІЛЬНОЇ ШИХТИ НА ЇЇ ПІДГОТОВКУ ДО
КОКСУВАННЯ**

Монографія

В авторській редакції

Підписано до друку...2023 р.
Папір офсетний. Гарнітура Pt Serif.
Умовн друк. Арк. Умовн. Фарбо-відб.
Термін придатності необмежений,
зберігати в сухому місці.

Видавництво «Крок»
Свідоцтво ДК №.3538 від 30.07.2009 року
вул. Гайова, 56, м. Тернопіль, Україна, 47722
info@krokbooks.com
KrokBooks.com

Розробник Видавничий центр НТУ «ХПІ»
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 5478 від 21.08.2017
61002, Харків, вул. Кирпичова, 2