

УДК 622.74

Д.А. ПОЛУЛЯХ, канд. техн. наук
(Украина, Днепр, Государственное ВУЗ "Национальный горный университет")

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВИБРОУПЛОТНЕНИЯ НАДСИТНОГО ПРОДУКТА ГИДРОМЕХАНИЧЕСКОГО ГРОХОТА

Актуальность темы

Современные теоретические представления о физике обогащательных процессов позволяют сделать вывод о том, что наиболее высокие качественно-количественные показатели обогащательных процессов достигаются при обогащении узких классов крупности, подготовленных в соответствии с требованиями этих процессов к исходному продукту. В связи с этим подготовка машинных классов становится одной из наиболее ответственных подготовительных операций на современных углеобогащательных фабриках.

Особенно ответственной является подготовка машинных классов при их последующем обогащении методами тяжелосредней сепарации. Эта ответственность вытекает из необходимости двухкритериальной оценки качества подготовки машинных классов: эффективности грохочения и эффективности обезвоживания, так как требования по засорению машинного класса некондиционными по крупности частицами и по его влажности заложены в нормах технологического проектирования углеобогащательных фабрик.

Как показала практика углеобогащения наиболее перспективным способом подготовки машинных классов из рядового угля для тяжелосреднего обогащения является сочетание гидрогрохочения, представляющего собой разделение зернистых материалов по крупности на неподвижной просеивающей поверхности (НПП) с помощью, в основном гидродинамических сил, и виброгрохочения, при котором разделение по крупности происходит на подвижной просеивающей поверхности (ППП) с помощью, в основном, механических сил и сил инерции [1]. Гидрогрохочение характеризуется высокими удельными нагрузками, виброгрохочение – высокой эффективностью грохочения и обезвоживания. Сочетание в одном аппарате достоинств этих двух способов грохочения позволит решить проблему эффективной подготовки машинных классов из рядового угля в потоках большой единичной мощности и создать новый тип грохотов – гидромеханический грохот [2, 3].

Сложность решения данной проблемы объясняется тем, что гидромеханический способ подготовки машинных классов представляет собой сложный процесс, включающий в себе элементы водонасыщения, гидротранспорта, промывки, виброперемещения, вибропросеивания и виброобезвоживания, и характеризующийся разнообразием геометрических форм просеивающей поверхности. Особенностью гидромеханического способа грохочения является необходимость применения виброуплотнения надситного продукта с целью снижения

Підготовчі процеси збагачення

его влажности и доведения ее до кондиций, отвечающих требованиям тяжело-среднего обогащения

В этой связи исследования влияния виброуплотнения частиц надситного продукта на конечном участке подвижной просеивающей поверхности (ППП) на его влажность является актуальной задачей.

Для проведения экспериментальных исследований влияния виброуплотнения надситного продукта гидромеханического грохота на его влажность было использовано экспериментальное устройство УРШ-2,5, общий вид которого приведен на рис. 1 [4].



Рис. 1. Общий вид экспериментального устройства УРШ-2,5

Конструкция устройства включает короб, в котором на специальных подси́тниках смонтировано сито, вибратор, упругие опоры (виброизоляторы), электродвигатели, переходники и защитное ограждение.

Колебательный режим устройству обеспечивает вибратор, состоящий из двух кинетически не связанных между собой вибровозбудителей, работающих в условиях самосинхронизации.

Для обеспечения возможности регулирования величины амплитуды колебаний короба устройства УРШ-2,5 дебалансы вибратора выполнены из двух составных дисков в форме сектора круга. Один диск с помощью шпонки жестко посажен на валу вибровозбудителя, а второй – поворотный диск (имея возможность разворота вокруг оси вала после установки под требуемым углом болтом крепится к первому диску).

Поворотный диск можно ступенчато разворачивать относительно первого диска от 0 до 180° с шагом 30°, причем все поворотные диски (8 шт.) вибратора необходимо разворачивать на один угол. Максимальная амплитуда колебаний при совмещенных дисках дебалансов, когда суммарная неуравновешенная масса дебалансов имеет максимальную величину, а минимальная амплитуда колебаний будет при разведении дисков на 180°.

Підготовчі процеси збагачення

Изменение частоты колебаний короба устройства осуществляется с помощью набора шкивов различного диаметра, передающих вращение валам вибратора от электродвигателей.

Установка загрузочной и разгрузочной секций сита под различными углами наклона производится с использованием комплекта деревянных подставок разной высоты. Секции сита жестко крепятся к связью-балкам короба устройства. Для изменения угла наклона секций сита под ними на крайние связью-балки устанавливаются подставки соответствующей высоты.

Техническая характеристика УРШ-2,5, приспособленного для проведения данных исследований, приведена в табл. 1.

Таблица 1

Техническая характеристика экспериментального образца
устройства УРШ-2,5

№ п/п	Наименование показателей и единица измерения	Величина
1	Производительность:	
	по пульпе, м ³ /ч, в пределах	40-60
	по твердому, т/ч, в пределах	10-20
2	Размер отверстий сита, мм	1,0
3	Крупность исходного питания, мм, в пределах	0-3
4	Площадь обезвоживающей поверхности, м ²	2,5
5	Размеры обезвоживающей поверхности, мм:	
	ширина	1000
	длина	2500
6	Количество секций обезвоживающей поверхности (по длине), шт.	3
7	Угол наклона поворотных секций, градус:	
	загрузочной	0
	промежуточной	0
	разгрузочной	0; +5; +10; +15; +20
8	Угол наклона короба к горизонту, градус	0
9	Частота колебаний короба, мин. ⁻¹	735; 870; 1000
10	Амплитуда колебаний короба, мм	-6
11	Угол вибраций (к горизонту), градус	50
12	Номинальная мощность электродвигателя, кВт	3Ч2 двигателя
13	Масса (колеблющихся частей), кг	2100
15	Габаритные размеры, мм:	
	длина	2850
	ширина	2100
	высота	1650

Определение угла наклона участка виброуплотнения осуществлялось в условиях ЦОФ "Октябрьская" на исходном материале, представляющего собой концентрат отсадочной машины БОММ-16М, прошедшего предварительное обезвоживание на неподвижных ситах сброса и конусном грохоте ГК-3.

Гранулометрический состав надситного продукта ГК-3 приведен в табл. 2

Гранулометрический состав исходного продукта
экспериментального устройства УРШ-2,5

Класс крупности, мм	Нагрузка, т/ч	Выход к исходному, %	Выход к продукту, %
6-13	21,60	7,20	39,05
3-6	19,80	6,60	35,79
1-3	7,21	2,40	13,03
0-1	6,71	2,94	12,13
Итого	55,32	18,44	100,0
Влажность, %		41,4	
Зольность, %		25,6	
Средний диаметр, мм		5,64	

Во время исследований угол участка виброуплотнения α_k принимал значения 0, 5, 10, 15, 20 град. При этом коэффициент динамичности $K_g = 6,5$ (т.е. амплитуда была 6 мм, частота колебаний – 1000 об/мин.

Результаты исследований приведены в табл. 3 и на рис. 2 (кривая 1).

Таблиця 3

Результаты исследований влияния угла наклона участка
виброуплотнения на влажность надситного продукта

Угол наклона α_k , град	№ опыта	Выход классов к надситному продукту, %					Влажность, %
		6-13	3-6	1-3	0-1	Итого	
0	1	44,9	39,3	12,0	3,8	100,0	18,2
	2	46,5	38,2	11,0	4,3	100,0	19,4
	3	45,1	38,6	12,4	3,9	100,0	18,2
	Ср.	45,5	38,7	11,8	4,0	100,0	18,6
5	1	43,9	40,1	13,0	3,0	100,0	16,9
	2	46,5	38,5	11,6	3,4	100,0	17,6
	3	45,2	39,6	12,0	3,2	100,0	16,8
	Ср.	45,2	39,4	12,2	3,2	100,0	17,1
10	1	44,3	41,2	11,5	3,0	100,0	15,4
	2	45,3	39,8	12,2	2,7	100,0	15,0
	3	45,5	40,5	11,1	2,9	100,0	14,7
	4	42,1	40,9	14,4	2,6	100,0	14,9
	Ср.	44,3	40,6	12,3	2,8	100,0	15,0
15	1	44,8	39,7	12,0	3,5	100,0	22,4
	2	46,1	38,7	11,4	3,8	100,0	23,6
	3	45,0	39,7	11,9	3,4	100,0	21,5
	4	44,9	39,1	12,3	3,7	100,0	23,3
	Ср.	45,2	39,3	11,9	3,6	100,0	22,7
20	1	47,2	38,3	10,4	4,1	100,0	26,7
	2	47,0	37,8	10,8	4,4	100,0	30,3
	3	45,7	38,5	11,8	4,0	100,0	26,1
	Ср.	46,6	38,2	11,0	4,2	100,0	27,7

Из приведенных данных следует, что наименьшая влажность надситного продукта наблюдается при угле наклона участка вибровозбуждения на уровне 10° . Увеличение угла наклона приводит не только к уплотнению надситного продукта в движущемся слое, но и к накоплению его в слое, что приводит к не удалению класса 0-1 мм в подситный продукт, который в основном, и определяет влажность надситного продукта.

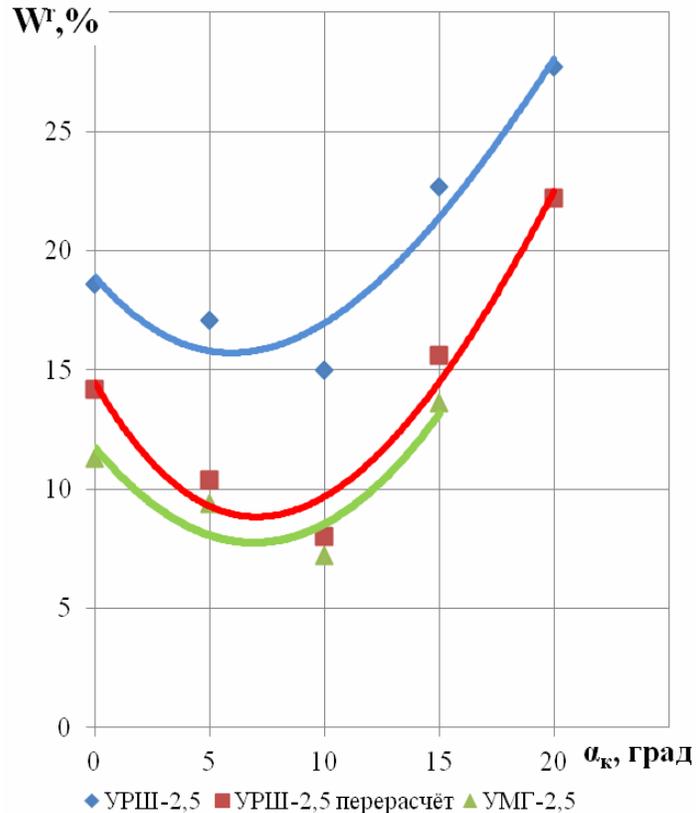


Рис. 2. Зависимость влажности надситного продукта W^r от угла наклона участка виброуплотнения α_k :

- ◆ УРШ-2,5 – експериментальні дослідження на ЦОФ "Октябрьская";
- УРШ-2,5 – при пересчете на условия узла подготовительного грохочения ЦОФ "Октябрьская";
- ▲ УМГ-2,5 – полупромышленные исследования на ЦОФ "Узловская".

Для определения величины влажности надситного продукта в узле мокрого подготовительного грохочения, пересчитаем полученную экспериментальную влажность надситного продукта УРШ-2,5 с учетом разницы в среднем диаметре частиц исходного материала ($\Delta d_{cp} = d_{cp+13} : d_{cp\ 0-13} = 27,54 : 5,64 = 4,88$), в коэффициенте динамичности ($\Delta K_g = K_{g0-13} : K_{g+13} = 6,5 : 3,5 = 1,86$) и в содержании класса 0-1 мм ($\Delta \gamma_{0-1} = \gamma_{0-1,0+13} : \gamma_{\Delta-1,0+13} = \gamma_{\Delta-1,0+13} : 2$). Здесь $d_{cp+13} = 27,54$ мм – средний диаметр частиц крупного машинного класса на ЦОФ "Октябрьская" [5], $\gamma_{0-1,0+13} = 2$ – требуемое содержание классов 0-1 мм в крупном машинном классе согласно нор-

Збагачення корисних копалин, 2016. – Вип. 63(104)

Підготовчі процеси збагачення

мам технологического проектирования углеобогачительных фабрик [6].

Формула пересчета

$$W_{+13} = W_{0-13} \cdot \Delta K_g \cdot \Delta \gamma_{0-1} / \Delta d_{cp}, \%$$

Результаты пересчета приведены в табл. 4 и на рис. 2 (кривая 2).

Таблица 4

Результаты пересчета влажности по их средним значениям

Угол наклона α_k	Влажность надситного продукта УРШ-2,5, %	Коэффициент пересчета			Влажность надситного продукта узла подготовительного грохочения, %
		Δd_{cp}	ΔK_g	$\Delta \gamma_{0-1}$	
0	18,6	4,88	1,86	2,0	14,2
5	17,1	4,88	1,86	1,6	10,4
10	15,0	4,88	1,86	1,4	8,0
15	22,7	4,88	1,86	1,8	15,6
20	27,7	4,88	1,86	2,1	22,2

Из приведенных данных следует, что наименьшая влажность надситного продукта узла подготовительного грохочения ЦОФ "Октябрьская" составляет 80% при угле наклона участка виброуплотнения 10 град. и коэффициенте динамичности $III \Delta K_g = 3,5$. По факту – она равна 7,8% [5], ошибка 2,5%.

Для подтверждения выводов, сформулированных выше, на ЦОФ "Узловская" были выполнены полупромышленные исследования влияния угла наклона участка виброуплотнения на влажность надситного продукта. Объектом испытаний была установка мокрого грохочения УМГ-2,5 [7].

Установка УМГ-2,5 предназначена для подготовки машинных классов из рядового угля по крупности 13 мм в условиях обогащения крупного машинного класса методом тяжелосредней сепарации и мелкого машинного класса методом гидравлической отсадки.

Техническая характеристика установки УМГ-2,5 приведена в табл. 5.

Установка УМГ-2,5 представляет собой аппарат для мокрого подготовительного грохочения, включающий в себя стационарную просеивающую поверхность в виде прямого конуса с поддоном, снабженную загрузочным устройством циклонного типа, и установленную с зазором в специальном бункере над подвижной просеивающей поверхностью, выполненной в виде инерционного грохота ГИСТ-72.

Установка смонтирована в главном корпусе ЦОФ "Узловская" на отм. +15,5 м и работает в режиме фабрики [8]. Стационарная просеивающая поверхность установки УМГ-2,5 оборудована картами с поперечным расположением колосников, с расстоянием между колосниками 15 мм, а на верхнем ярусе грохота ГИСТ-72 установлены сита с отверстиями 25Ч25 мм, на нижнем с отверстиями 13Ч13 мм.

Підготовчі процеси збагачення

Создание участка виброуплотнения осуществляется путем изменения угла наклона на +5, +10, +15 град. конечной (j) части нижнего яруса подвижной просеивающей поверхности и уменьшением на эту же длину подвижной поверхности верхнего яруса.

Таблица 5

Техническая характеристика УМГ-2,5

№ п/п	Наименование показателя	Единица измерения	Значение параметра
1	Производительность	т/ч	450-830
2	Удельный расход воды (в зависимости от давления)	м ³ /т	0,7-1,3
3	Граничная крупность разделения	мм	13
4	Площадь просеивающей поверхности, в т.ч.:		
	неподвижной (конусной)	м ²	23,8
	подвижной (прямоугольной) верхнего яруса	м ²	3,6
	подвижной (прямоугольной) нижнего яруса	м ²	6,6
5	Размеры неподвижной (конусной) просеивающей поверхности:		
	диаметр верхней части сита	мм	450
	диаметр нижней части сита	мм	2000
	длина образующей (по сити)	мм	900
	ширина отверстий сита	мм	15
6	Размеры подвижной (прямоугольной) просеивающей поверхности верхнего яруса:		
	ширина	мм	2500
	длина	мм	3070
	размер отверстий	мм Ч мм	25 Ч 25
7	Размеры подвижной (прямоугольной) просеивающей поверхности нижнего яруса:		
	ширина	мм	2500
	длина	мм	6000
	размер отверстий	мм Ч мм	13 Ч 13
8	Амплитуда колебаний подвижной (прямоугольной) просеивающей поверхности	мм	6,2
9	Частота колебаний подвижной (прямоугольной) просеивающей поверхности	с ⁻¹	12,25
10	Установленная мощность электродвигателей	кВт	44
11	Габаритные размеры при угле наклона 5 град. подвижной (прямоугольной) просеивающей поверхности:		
	длина	мм	8000
	ширина	мм	5000
	высота	мм	5400
12	Масса без брызгальных устройств	кг	20000

Обезвоженный надситный продукт с нижнего яруса подвижной рабочей поверхности крупностью +13 мм по желобу попадает в сепаратор СКВП-32, а подситный продукт в ванну установки, из которой мелкий машинный класс

Збагачення корисних копалин, 2016. – Вип. 63(104)

Підготовчі процеси збагачення

крупністю -13 мм по желобу направляется в отсадочную машину ОМ-24.

Результаты полупромышленных исследований влияния угла наклона участка виброуплотнения на влажность надситного продукта приведены в табл. 6 и на рис. 2 (кривая 3).

В процессе испытаний установки нагрузка на фабрику изменилась в пределах 650-850 т/ч.

Таблица 6

Результаты полупромышленных исследований гидромеханического грохота с комбинированной просеивающей поверхностью конусно-прямоугольной формы

Угол наклона участка виброуплотнения, град.	№ опытов	Производительность, т/ч	Удельный расход воды, м ³ /т	Продукты	Выход классов, %				Влажность надситного продукта, %
					+13 мм	1-13 мм	0-1 мм	Итого	
0	1	580	1,2	Исходный	25,4	50,7	23,9	100,0	11,6
				Надситный	89,5	8,5	2,0	100,0	
	2	620	0,9	Исходный	21,6	52,2	26,2	100,0	11,2
				Надситный	88,7	9,1	2,2	100,0	
	3	670	0,8	Исходный	22,2	52,1	25,7	100,0	11,6
				Надситный	88,6	8,9	2,5	100,0	
	4	610	1,1	Исходный	23,1	51,4	25,5	100,0	10,8
				Надситный	87,2	10,3	2,5	100,0	
	Сред.	620	1,0	Исходный	23,1	51,6	25,3	100,0	11,3
				Надситный	88,5	9,2	2,3	100,0	
5	1	500	1,2	Исходный	26,4	48,7	24,9	100,0	9,7
				Надситный	90,3	8,4	1,3	100,0	
	2	600	1,1	Исходный	24,0	50,6	25,4	100,0	9,0
				Надситный	90,2	8,3	1,5	100,0	
	3	700	0,9	Исходный	22,9	50,9	26,2	100,0	9,3
				Надситный	90,6	8,2	1,2	100,0	
	4	800	0,8	Исходный	24,4	51,4	24,2	100,0	9,6
				Надситный	89,7	8,7	1,6	100,0	
	Сред.	650	1,0	Исходный	24,4	50,4	25,2	100,0	9,4
				Надситный	90,2	8,4	1,4	100,0	

Підготовчі процеси збагачення

Продолжение табл. 6

Угол наклона участков виброуплотнения, град.	№ опытов	Производительность, т/ч	Удельный расход воды, м ³ /т	Продукты	Выход классов, %				Влажность надситного продукта, %
					+13 мм	1-13 мм	0-1 мм	Итого	
10	1	500	1,2	Исходный	19,4	57,1	23,5	100,0	8,0
				Надситный	90,2	9,5	0,3	100,0	
	2	550	1,1	Исходный	28,9	45,3	25,8	100,0	7,5
				Надситный	91,0	8,4	0,6	100,0	
	3	580	1,0	Исходный	22,8	50,6	26,6	100,0	7,0
				Надситный	91,6	7,6	0,8	100,0	
	4	750	0,8	Исходный	28,4	46,1	25,5	100,0	8,5
				Надситный	90,1	9,0	0,9	100,0	
	5	650	0,9	Исходный	28,1	47,2	24,7	100,0	6,8
				Надситный	92,3	7,3	0,4	100,0	
	6	870	0,7	Исходный	26,0	49,2	24,8	100,0	6,0
				Надситный	94,5	5,0	0,5	100,0	
	7	450	1,3	Исходный	23,2	51,7	25,1	100,0	6,5
				Надситный	93,7	5,6	0,7	100,0	
Сред.	620	1,0	Исходный	25,3	49,6	25,1	100,0	7,2	
			Надситный	91,9	7,5	0,6	100,0		
15	1	540	1,2	Исходный	18,2	56,4	25,4	100,0	13,7
				Надситный	83,5	12,7	3,8	100,0	
	2	620	1,0	Исходный	22,9	52,8	24,3	100,0	13,2
				Надситный	86,3	11,0	2,7	100,0	
	3	710	0,8	Исходный	20,0	53,6	26,4	100,0	13,0
				Надситный	84,1	12,4	3,5	100,0	
	4	680	0,9	Исходный	24,0	52,2	23,8	100,0	13,8
				Надситный	84,9	12,0	3,1	100,0	
	5	600	1,1	Исходный	20,8	54,0	25,2	100,0	14,3
				Надситный	82,2	13,4	4,4	100,0	
	Сред.	630	1,0	Исходный	21,2	53,8	25,0	100,0	13,6
				Надситный	84,2	12,3	3,5	100,0	

Підготовчі процеси збагачення

Из приведенных данных следует, что минимальная влажность надситного продукта узла мокрого подготовительного грохочения на ЦОФ "Узловская", осуществляемого на гидромеханическом грохоте УМГ-2,5 с комбинированной просеивающей поверхностью конусно-прямоугольной формы, достигается при угле наклона участка виброуплотнения на уровне 10° при коэффициенте динамичности.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что применение виброуплотнения на конечном участке подвижной просеивающей поверхности на гидромеханических грохотах приводит к снижению влажности надситного продукта на 4,1%.

Наименьшая влажность надситного продукта (7,2%) достигается при наклоне участка виброуплотнения 10%. Зависимость $W = f(\alpha_k)$ имеет оптимальный характер с минимумом на уровне 10° , при этом с увеличением угла наклона более 15° влажность надситного продукта резко возрастает, за счет роста слоя материала, нарушение процесса вибротранспортирования и неэффективного удаления из надситного продукта класса 0-1 мм, определяющего, в основном, влажность любого материала.

Полученные в условиях ЦОФ "Узловская" результаты исследования позволяют определить направление модернизации установок типа УМГ путем создания на их подвижной просеивающей поверхности участка виброуплотнения надситного продукта.

Выводы

1. Снижение влажности надситного продукта в узлах подготовки машинных классов из рядового угля перед тяжелосредним обогащением достигается применением виброуплотнения на конечном участке подвижной просеивающей поверхности.

2. Виброуплотнение надситного продукта достигается поднятием конечного участка подвижной просеивающей поверхности относительно ее основной части.

3. Виброуплотнение надситного продукта осуществляется по времени, необходимому для доведения его порозности до минимальной порозности, т.е. порозности монослоя (для угля $m_{\min} = 0,46$).

4. Угол наклона участка виброуплотнения, при котором достигается минимальная влажность надситного продукта, составляет 10° при коэффициенте динамичности подвижной просеивающей поверхности $K_g = 3,5 - 6,5$.

Список литературы

1. Полулях Д.А. Определение эффективности подготовки крупного машинного класса // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2014. – Вип. 57(98). – С. 91-95.

2. Полулях Д.А., Полулях Д.А. Особенности конструирования гидрогрохотов с комбинированной просеивающей поверхностью плоской формы // Вибрации в технике и техноло-

гиях. – 2013. – № 4. – С. 117-122.

3. Полулях Д.А., Полулях Д.А. Развитие гидрогрохотов и аппаратов на их основе: Материалы научно-техн. конф. "Инновационные технологии обогащения минерального и технологического сырья. – Екатеринбург (Россия): Уральский государственный горный университет, 2013. – С. 210-227.

4. Полулях Д.А., Полулях Д.А., Еремеев И.В. Исследование процесса обезвоживания угольных шламовых суспензий на лабораторной модели высокочастотного грохота с разнонаклонными участками сит // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2013. – Вип. 53(94). – С. 138-148.

5. ТР 10.1.00185755-018:2011 Технологический регламент центральной обогатительной фабрики (ЦОФ) "Октябрьская" / Рук. А.Д. Полулях. – Луганск: ГП "Укрнииуглеобогащение", 2011. – 196 с.

6. Нормы технологического проектирования углеобогатительных фабрик ВНТПЗ-94. – Харьков: Южгипрошахт, 1993. – 156 с.

7. Полулях А.Д. Гидрогрохочение углей. – Д.: ПП Шевелев Е.А, 2010. – 326 с.

8. Технологические регламенты основных процессов ЦОФ "Узловская" / Рук. А.Д. Полулях. – Луганск: Укрнииуглеобогащение, 1004. – 208 с.

© Полулях Д.А., 2016

*Надійшла до редколегії 01.09.2016 р.
Рекомендовано до публікації д.т.н. О.Д. Полуляхом*