

**А.Д. ПОЛУЛЯХ**, д-р техн. наук

(Україна, Дніпр, ОП «Укрніиуглеобогачення» ГП «НТЦ «Углеінновація»)

## **РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ УГОЛЬНЫХ ШЛАМОВЫХ ПРОДУКТОВ УПЦ № 1 ЧАО «АВДЕЕВСКИЙ КХЗ»**

Отказ от сушильных установок на углеобогатительных фабриках приводит к необходимости снижения влажности механического обезвоживания продуктов обогащения и, в первую очередь, угольных шламовых продуктов, обладающих повышенной влагоемкостью и определяющим, особенно при их большой доле, в основном, конечную влажность отгружаемой товарной продукции.

Однако не всегда механическое обезвоживание обеспечивает желаемое качество обезвоженных продуктов, так как в большинстве случаев при обезвоживании угольных шламовых продуктов влажность осадка при (помимо режимных параметров) определяется дисперсностью обезвоживаемого материала: чем тоньше исходный материал, тем выше влажность осадка при прочих равных условиях.

Рассмотрим, к примеру, требования технического задания (ТЗ) ЧАО «АКХЗ» от 23.12.2016 г. на проект замены оборудования для обезвоживания мелких классов продуктов обогащения углефабрики углеподготовительного цеха № 1 и возможности их выполнения.

Основными требованиями для совершенствования операции обезвоживания мелких классов продуктов обогащения являлись:

- применение осадительно-фильтрующих центрифуг «Декантер»;
- достижение влажности и зольности осадка центрифуг, соответственно, не более 12% и 12%; - нагрузка на фабрику на сухую массу 656,6 т/ч.

Для выполнения расчетов в ТЗ приведены данные гранулометрического состава продуктов, направляемых на обезвоживание на осадительно-фильтрующие центрифуги и возможные % участия этих продуктов в питании центрифуг. Эти данные приведены в табл. 1 и 2.

Для подтверждения данных гранулометрических составов продуктов, направляемых в центрифуги, институтом «Укрніиуглеобогачення» было выполнено их опробование [1], данные которого помещены в табл.1.

Из табл. 1 следует, что средний диаметр частиц, флотоконцентрата и сгущенного продукта гидроциклонов ГЦ-710, приведенных в ТЗ, соответственно в 1,4 раза больше чем в этих же продуктах по результатам опробования, а концентрата гидросайзеров (ГС) практически одинаков.

## **Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство**

Таблиця 1

Гранулометрический состав исходных продуктов,  
направляемых на обезвоживание на декантерных центрифугах

Класс крупности, мм	Продукты					
	Сгущенный ГЦ-710		Концентрат ГС		Флотоконцентрат	
	Выход, %	Зольность, %	Выход, %	Зольность, %	Выход, %	Зольность, %
<b>По ТЗ от 23.12.2016 г.</b>						
<b>+1</b>	<b>4,8</b>	<b>11,4</b>	<b>5,55</b>	<b>7,0</b>	<b>0,32</b>	<b>12,5</b>
<b>0,5-1</b>	<b>25,49</b>	<b>13,8</b>	<b>28,68</b>	<b>6,8</b>	<b>5,06</b>	<b>12,1</b>
<b>0,2-0,5</b>	<b>7,51</b>	<b>15,9</b>	<b>7,09</b>	<b>9,3</b>	<b>2,68</b>	<b>10,9</b>
<b>0-0,2</b>	<b>62,2</b>	<b>31,9</b>	<b>58,68</b>	<b>9,5</b>	<b>91,94</b>	<b>12,7</b>
<b>Итого</b>	<b>100,0</b>	<b>25,1</b>	<b>100,0</b>	<b>8,6</b>	<b>100,0</b>	<b>12,5</b>
<b>Выход к рядовому углю (<math>\gamma</math>), %</b>	<b>8,4</b>		<b>6,1</b>		<b>17,7</b>	
<b>Нагрузка по сухому (Q), т/ч</b>	<b>55</b>		<b>40</b>		<b>116</b>	
<b>Количество пульпы (P), м<sup>3</sup>/ч</b>	<b>80</b>		<b>120</b>		<b>895</b>	
<b>Содержание твердого (C), кг/м<sup>3</sup></b>	<b>719</b>		<b>320</b>		<b>130</b>	
<b>Средний диаметр частиц (<math>d_{cp}</math>), мм</b>	<b>0,352</b>		<b>0,382</b>		<b>0,144</b>	
<b>По ситовому анализу октября 2017 г. [1]</b>						
<b>+1</b>	<b>11,52</b>	<b>3,0</b>	<b>4,72</b>	<b>1,6</b>		
<b>0,5-1</b>	<b>17,66</b>	<b>6,9</b>	<b>20,40</b>	<b>2,1</b>	<b>0,27</b>	<b>1,5</b>
<b>0,25-0,5</b>	<b>32,96</b>	<b>7,7</b>	<b>35,30</b>	<b>3,4</b>	<b>9,04</b>	<b>2,0</b>
<b>0,16-0,25</b>	<b>11,30</b>	<b>18,1</b>	<b>11,68</b>	<b>16,5</b>	<b>14,18</b>	<b>3,3</b>
<b>0,074-0,16</b>	<b>6,98</b>	<b>33,7</b>	<b>6,92</b>	<b>27,8</b>	<b>17,54</b>	<b>4,4</b>
<b>0,04-0,074</b>	<b>2,42</b>	<b>44,6</b>	<b>1,66</b>	<b>31,1</b>	<b>16,02</b>	<b>5,7</b>
<b>-0,04</b>	<b>17,16</b>	<b>51,6</b>	<b>19,32</b>	<b>34,8</b>	<b>42,95</b>	<b>11,7</b>
<b>Итого</b>	<b>100,0</b>	<b>18,4</b>	<b>100,0</b>	<b>12,8</b>	<b>100,0</b>	<b>7,4</b>
<b>Выход к рядовому углю (<math>\gamma</math>), %</b>	<b>3,6</b>		<b>3,8</b>		<b>21,8</b>	
<b>Нагрузка по сухому (Q), т/ч</b>	<b>23,6</b>		<b>25,0</b>		<b>143,1</b>	
<b>Количество пульпы (P), м<sup>3</sup>/ч</b>	<b>42,1</b>		<b>92,9</b>		<b>817,7</b>	
<b>Содержание твердого (C), кг/м<sup>3</sup></b>	<b>561</b>		<b>269</b>		<b>175</b>	
<b>Средний диаметр частиц (<math>d_{cp}</math>), мм</b>	<b>0,252</b>		<b>0,393</b>		<b>0,103</b>	

Варианти состава исходного продукта центрифуг

Номер варианта	% участия продуктов, подлежащих обезвоживанию в центрифугах				Источник информации
	Концентрат ГС	Концентрат флотации	Сгущенный ГЦ-710	Фильтрат центрифуг	
№ А1	100	100	–	100	Опробование
№ А2	50	100	100	100	Опробование
№ А3	100	100	100	100	Опробование
№ А4	100	100	100	100	по ТЗ

В табл. 3 приведены результаты работы осадительно-фильтрующих центрифуг типа «Декантер» (44"×132"), которые предполагается устанавливать в УПЦ № 1 ЧАО «АКХЗ». Из данных этой таблицы следует, что влажность осадка в основном определяется крупностью исходного материала. Так при средней крупности частиц исходного материала 0,2 мм (ОФ «Тугнуйская») средняя влажность осадка составляет 17%; 0,52 мм (ОФ «Свято-Варва-ринская») – 13,5%; 1,0 мм (ОФ «Северная») – 12,0%; 1,15 мм (ОФ «Бачатская-Коксовая») – 9,5%.

Таким образом, зная гранулометрический состав исходного продукта центрифуг или (лучше) продуктов обезвоживания и, в первую очередь, осадка можно, применяя принцип аналогичности, установить влажность предполагаемого осадка и его зольность.

В качестве аналога приняты результаты работы декантерных центрифуг на ОФ «Свято-Варваринская» [3].

Определение коэффициентов извлечения классов крупности исходного материала осуществлялось по следующим формулам:

а) извлечение *i*-го класса крупности в фугат

$$\varepsilon_{\text{фугат},i} = Q_{\text{фугат},i} : Q_{\text{исх},i}, \text{ д. ед.} \tag{1}$$

б) извлечение *i*-го класса крупности в фильтрат

$$\varepsilon_{\text{фильтр},i} = Q_{\text{фильтр},i} : Q_{\text{исх},i}, \text{ д. ед.} \tag{2}$$

в) извлечение *i*-го класса крупности в осадок

$$\varepsilon_{\text{осадок},i} = 1 - \varepsilon_{\text{фугат},i} - \varepsilon_{\text{фильтр},i}, \text{ д. ед.} \tag{3}$$

Зольность классов крупности при переходе их в продукты обезвоживания сохраняется [2].

Таблиця 3

Показатели работы центрифуг типа «Декантер» (44"×132")

Фабрика, источник	Марка угля	Крупность угля, мм	С <sub>исх.</sub> , кг/м <sup>3</sup>	W <sub>осадка</sub> , %	С <sub>фильтрата</sub> , кг/м <sup>3</sup>	С <sub>фугата</sub> , кг/м <sup>3</sup>	Извлечение в фильтрат + фугат, %
ОФ «Свято-Варваринская», [3]	К	0,04-1,0	368	12-15	400-500	25	8-10
ОФ «Бачатская-Коксовая», [4]	К, КС	0,3-2	480-510	8-11	90-100	20	13-15
ОФ «Северная», [4]	К, КО, ОС	0-2	250-500	10-14	200-400	20-40	13-15
ОФ «Тугнуйская», [4]	Д	0,045-0,35	495-565	16-18	440-530	50-100	13-15

В табл. 4 приведены результаты определения коэффициентом извлечения классов крупности в продуктах обезвоживания осадительно-фильтрующих центрифуг «Декантер» на ОФ «Свято-Варваринская», а в табл. 5 те же коэффициенты, интерполированные для шкалы ситового анализа, проводимого в условиях УПЦ № 1. На основании данных табл. 5 и гранулометрического состава питания центрифуг по вариантам № 1, № 2, № 3, № 4, приведенных в табл. 6, в табл. 7 помещены результаты расчета гранулометрических составов продуктов обезвоживания, с помощью которых определены их выхода, зольности и средние диаметры частиц. На рис. 1 приведены показатели обезвоживания по вариантам.

Таблиця 4

Определение коэффициентов извлечения классов крупности в продукты разделения осадительно-фильтрующих центрифуг «Декантер» на ОФ «Свято-Варваринская»

Класс крупности, мм	Продукты						
	Исходный	Осадок		Фильтрат		Фугат	
	Q, т/ч	Q, т/ч	ε, д.ед.	Q, т/ч	ε, д.ед.	Q, т/ч	ε, д.ед.
+1	3,6	3,57	0,992	0,03	0,008	-	-
0,5-1	33,3	32,77	0,984	0,50	0,015	0,03	0,001
0,25-0,5	55,1	54,00	0,980	0,99	0,018	0,11	0,002
0,125-0,25	46,0	44,80	0,974	1,06	0,023	0,14	0,003
0,063-0,125	13,0	12,47	0,959	0,43	0,033	0,10	0,008
-0,063	45,6	27,59	0,605	11,09	0,243	6,92	0,152
Итого	196,6	175,2	0,891	14,1	0,072	7,3	0,037
d <sub>ср</sub> , мм	0,317	0,346		0,098		0,044	

## Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

Таблиця 5

Коефіцієнт извлечения классов крупности в продукты обезвоживания осадительно-фильтрующих декантерных центрифуг для шкалы ситового анализа в условиях УПЦ № 1 АКХЗ

Класс крупности, мм	Коефіцієнт извлечения, д.ед.		
	Осадок	Фильтрат	Фугат
+1	0,992	0,008	-
0,5-1	0,984	0,015	0,001
0,25-0,5	0,980	0,018	0,002
0,16-0,25	0,976	0,021	0,003
0,074-0,16	0,966	0,028	0,006
0,04-0,074	0,857	0,096	0,047
-0,04	0,590	0,246	0,164

Таблиця 6

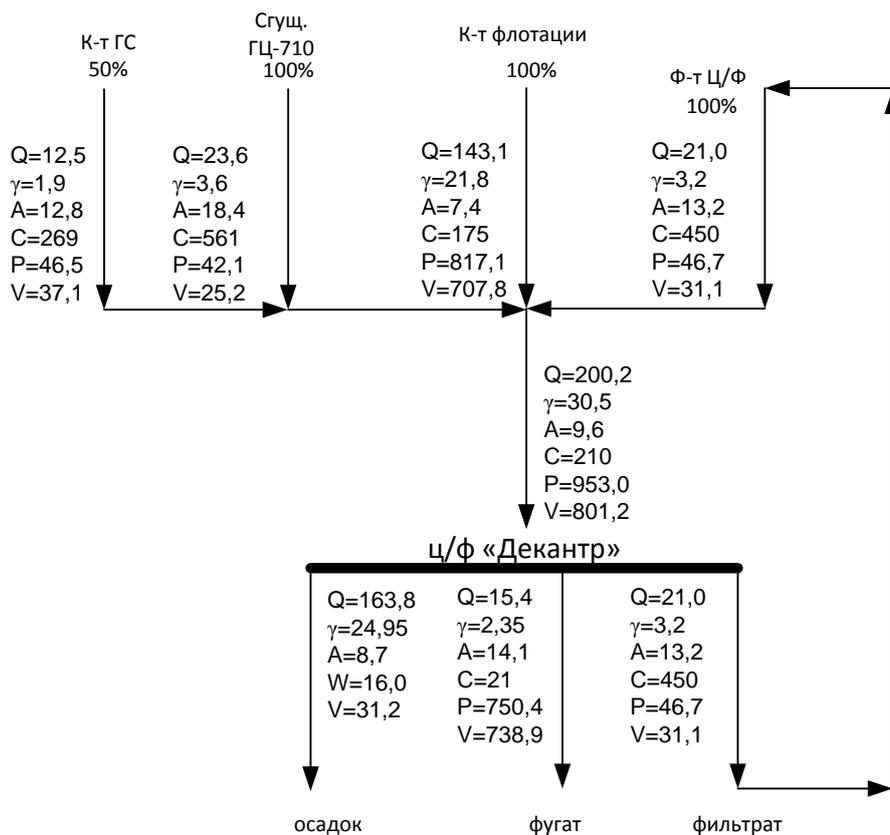
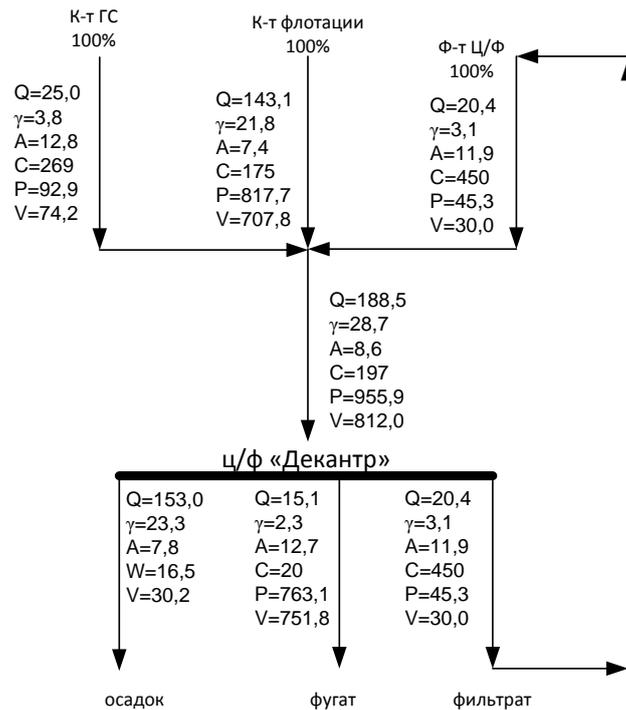
Гранулометрический состав питания центрифуг по вариантам

Класс крупности, мм	Варианты											
	№ 1			№ 2			№ 3			№ 4		
	$\gamma_n$ , %	$\gamma_n$ , %	$A^d$ , %	$\gamma_n$ , %	$\gamma_n$ , %	$A^d$ , %	$\gamma_n$ , %	$\gamma_n$ , %	$A^d$ , %	$\gamma_n$ , %	$\gamma_n$ , %	$A^d$ , %
+1	0,63	0,181	1,6	1,69	0,509	2,8	1,84	0,599	2,6	2,33	0,81	9,6
0,5-1	2,95	0,847	2,0	3,60	1,098	4,9	4,59	1,492	4,2	13,97	4,86	10,9
0,25*-0,5	11,75	3,373	2,7	12,78	3,897	4,0	14,09	4,579	3,9	4,48	1,56	12,5
0,16-0,25	12,58	3,610	5,0	12,45	3,798	5,7	12,39	4,025	6,3	79,22**	27,57**	16,2**
0,074-0,16	14,64	4,201	5,9	14,17	4,324	6,9	13,72	4,460	7,5			
0,04-0,074	13,58	3,897	6,2	12,97	3,960	6,9	12,29	3,994	7,2			
-0,04	43,87	12,591	13,4	42,34	12,914	14,9	41,08	13,351	15,6	100,0	34,8	15,2
Итого	100,0	28,7	8,6	100,0	30,5	9,6	100,0	32,5	9,9	100,0	34,8	15,2
Q, т/ч	188,5			200,2			213,4			228,1		
C, кг/м <sup>3</sup>	197			210			213			201		
P, м <sup>3</sup> /ч	955,9			953,0			1000,9			1132,9		
V, м <sup>3</sup> /ч	812,0			801,2			839,2			965,2		
d <sub>ср</sub> , мм	0,135			0,158			0,172			0,235		

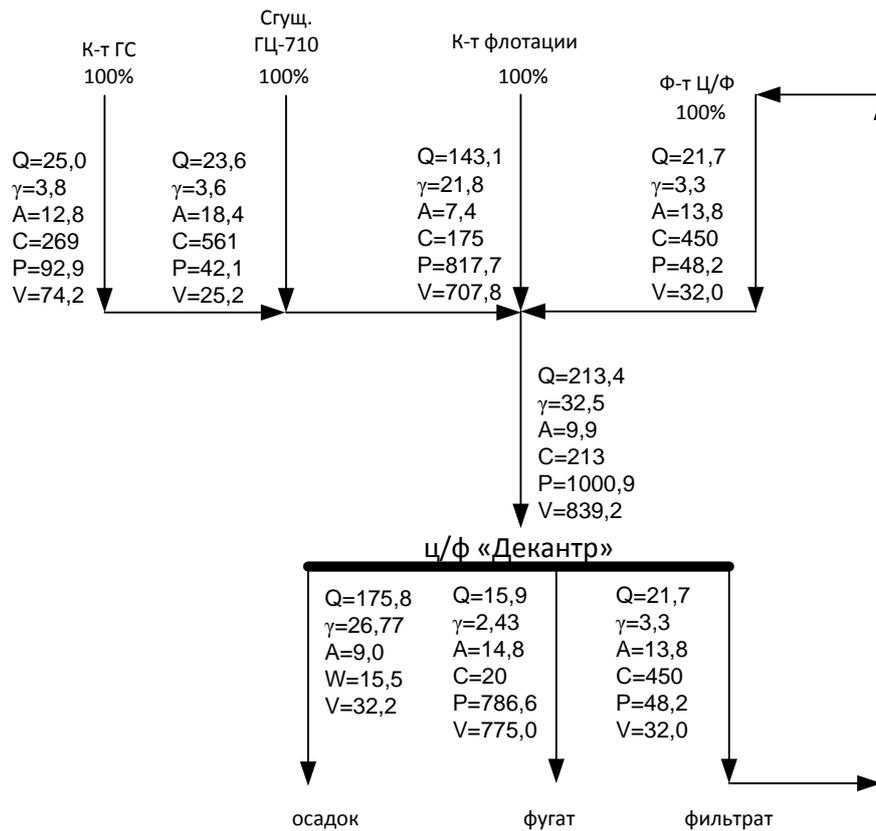
\* – для варианта № 4 класс 0,2-0,5 мм.

\*\* – для варианта № 4 класс 0-0,2 мм.

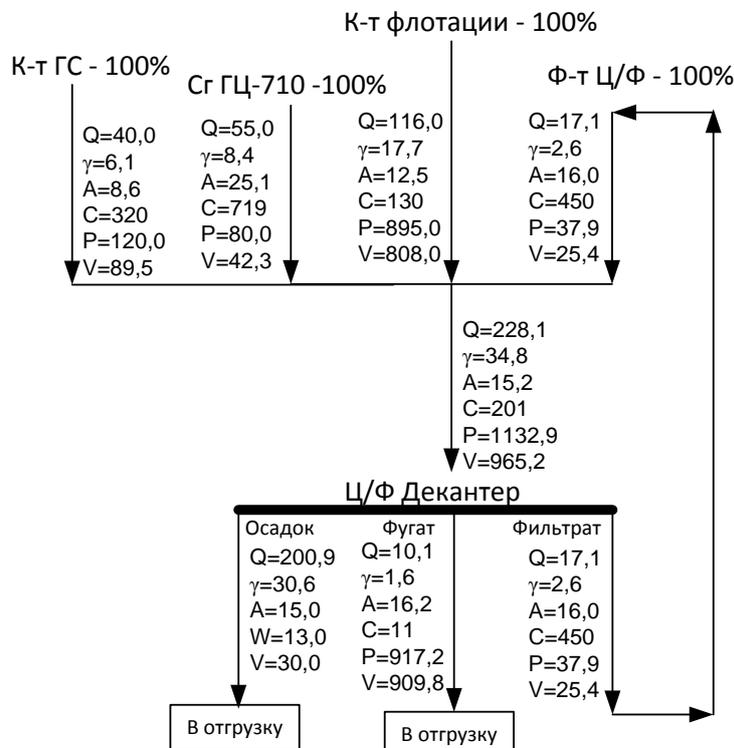
## Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство



## Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство



В



Г

Рис. 1. Показатели обезвоживания по вариантам:

а – № 1; б – № 2; в – № 3; г – № 4

## **Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство**

Из анализа данных табл. 7 и рис. 1 следует, что только в вариантах № 2 и № 3 зольность осадка удовлетворяет требования ТЗ, при этом выход осадка в варианте № 3 на 1,82% больше чем в варианте № 2.

Таблица 7

Расчет продуктов обезвоживания по вариантам

Класс крупности, мм	Варианты							
	Исходный		Фильтрат		Фугат		Осадок	
	$\gamma_{и}, \%$	$A^d, \%$						
<b>Вариант № 1</b>								
+1	0,181	1,6	0,002	1,6	–	–	0,179	1,6
0,5-1	0,847	2,0	0,013	2,0	0,001	2,0	0,833	2,0
0,25-0,5	3,373	2,7	0,061	2,7	0,007	2,7	3,305	2,7
0,16-0,25	3,610	5,0	0,075	5,0	0,011	5,0	3,524	5,0
0,074-0,16	4,201	5,9	0,114	5,9	0,025	5,9	4,062	5,9
0,04-0,074	3,897	6,2	0,341	6,2	0,188	6,2	3,368	6,2
-0,04	12,591	13,4	2,494	13,4	2,068	13,4	8,029	13,4
<b>Итого</b>	<b>28,7</b>	<b>8,6</b>	<b>3,1</b>	<b>11,9</b>	<b>2,3</b>	<b>12,7</b>	<b>23,3</b>	<b>17,8</b>
<b>d<sub>ср</sub>, мм</b>	<b>0,135</b>		<b>0,043</b>		<b>0,026</b>		<b>0,158</b>	
<b>Вариант № 2</b>								
+1	0,509	2,8	0,004	2,8	–	–	0,505	2,8
0,5-1	1,098	4,9	0,016	4,9	0,001	4,9	1,081	4,9
0,25-0,5	3,897	4,0	0,069	4,0	0,008	4,0	3,820	4,0
0,16-0,25	3,798	5,7	0,078	5,7	0,011	5,7	3,709	5,7
0,074-0,16	4,324	6,9	0,118	6,9	0,026	6,9	4,180	6,9
0,04-0,074	3,960	6,9	0,349	6,9	0,186	6,9	3,425	6,9
-0,04	12,914	14,9	2,566	14,9	2,118	14,9	8,230	14,9
<b>Итого</b>	<b>30,5</b>	<b>9,6</b>	<b>3,2</b>	<b>13,2</b>	<b>2,35</b>	<b>14,1</b>	<b>24,95</b>	<b>8,7</b>
<b>d<sub>ср</sub>, мм</b>	<b>0,158</b>		<b>0,045</b>		<b>0,026</b>		<b>0,185</b>	
<b>Вариант № 3</b>								
+1	0,599	2,6	0,005	2,6	–	–	0,594	2,6
0,5-1	1,492	4,2	0,022	4,2	0,002	4,2	1,468	4,2
0,25-0,5	4,579	3,9	0,081	3,9	0,009	3,9	4,489	3,9
0,16-0,25	4,025	6,3	0,083	6,3	0,012	6,3	3,930	6,3
0,074-0,16	4,460	7,5	0,122	7,5	0,027	7,5	4,311	7,5
0,04-0,074	3,994	7,2	0,351	7,2	0,187	7,2	3,456	7,2
-0,04	13,351	15,6	2,636	15,6	2,193	15,6	8,522	15,6
<b>Итого</b>	<b>32,5</b>	<b>9,9</b>	<b>3,3</b>	<b>13,8</b>	<b>2,43</b>	<b>14,8</b>	<b>26,77</b>	<b>9,0</b>
<b>d<sub>ср</sub>, мм</b>	<b>0,172</b>		<b>0,048</b>		<b>0,027</b>		<b>0,200</b>	
<b>Вариант № 4</b>								
+1	0,81	9,6	0,01	9,6	–	–	0,80	9,6
0,5-1	4,86	10,9	0,07	10,9	0,01	10,9	4,78	10,9
0,2-0,5	1,56	12,5	0,03	12,5	0,01	12,5	1,52	12,5
0-0,2	27,57	16,2	2,49	16,2	1,58	16,2	23,50	16,2
<b>Итого</b>	<b>34,8</b>	<b>15,2</b>	<b>2,6</b>	<b>16,0</b>	<b>1,60</b>	<b>16,2</b>	<b>30,6</b>	<b>15,0</b>
<b>d<sub>ср</sub>, мм</b>	<b>0,235</b>		<b>0,125</b>		<b>0,105</b>		<b>0,251</b>	

Сравнивая средние диаметры частиц осадка в вариантах № 1, № 2, № 3 и № 4 со средним диаметром частиц осадка центрифуг «Декантер» на ОФ «Свято-Варваринская», можно сделать вывод о том, что они соответственно, в 2,19; 1,87; 1,73 и 1,38 раза меньше. Следовательно, принимая минимальное значение влажности 12% для осадка центрифуг «Декантер» ОФ «Свято-Варваринская» при среднем диаметре частиц 0,346 мм, можно предположить, что влажность осадка по вариантам № 1, № 2, № 3 и № 4 будет больше. Ожидаемая влажность осадка определяется по формуле:

$$W_N = W_\phi \left( \frac{d_\phi}{d_N} - \frac{d_\phi - d_N}{d_\phi} \right), \% \quad (4)$$

где  $W_\phi = 12\%$  – фактическая влажность осадка центрифуг «Декантер» ОФ «Свято-Варваринская» при  $d_\phi = 0,346$  мм;  $W_N$  и  $d_N$  – влажность осадка (%) и средний диаметр его частиц (мм) по вариантам.

Подставляя в формулу (4) значения влажности и среднего диаметра частиц соответствующих осадков, получим следующие значения влажности по вариантам: № 1 – 19,8%, № 2 – 16,9%, № 3 – 15,7%, № 4 – 13,3%.

Из приведенных расчетов следует, что ни один из вариантов не обеспечивает требуемую по ТЗ влажность осадка. Исходя из обеспечения требований ТЗ по зольности и влажности осадка, лучшим следует признать вариант технологии обезвоживания № 3, в котором зольность осадка будет 9%, что на 3% меньше чем по требованию ТЗ, а влажность будет 15,7, что на 3,7% больше чем по требованию ТЗ.

Таким образом, требование ТЗ по влаге 12% осадка осадительно-фильтрующих центрифуг типа «Декантер» в условиях УПЦ № 1 АКХЗ, является невыполнимым, а, следовательно, оно было принято необоснованно.

### *Выводы*

1. Технологические показатели, выставляемые в технических заданиях на разработку проектов реконструкции углеобогатительных фабрик или совершенствования отдельных технологических операций на них должны отвечать возможностям современного оборудования при обработке материала с конкретными физико-механическими свойствами.

2. Выставление заранее невыполнимых технологических требований приводит к неучастию в тендерных торгах добросовестных, ответственных и квалификационных участников.

### **Список литературы**

1. Выполнить анализ работы технологической схемы УПЦ-1 ОАО Авдеевский КХЗ: Отчет о НИР / Рук. А.Д. Полулях. – Луганск: ГП «Укрнииуглеобогатение», 2009. – 53 с.

## **Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство**

2. Полулях А.Д. Практикум по расчетам качественно-количественных и водно-шламовых схем углеобогатительных фабрик: Учебн. пособие / А.Д. Полулях, П.И. Пилов, А.И. Егурнов. – Д.: Национальный горный университет, 2007. – 504 с.

3. ТР 10.1-00185755.020-2011 Технологический регламент филиала «Обогатительная фабрика «Свято-Варваринская» ПрАО «ДМЗ» / Рук. А.Д. Полулях. – Луганск: ГП «Укрнии-углеобогащение», 2011. – 181 с.

4. Антипенко Л.А. Технологические инструкции обогатительных фабрик Кузнецкого бассейна / Л.А. Антипенко, А.Ю. Ермаков. – Новосибирск: Академическое издательство «Гео», 2012. – 319 с.

© Полулях А.Д., 2019

*Надійшла до редколегії 03.12.2018 р.  
Рекомендовано до публікації д.т.н. І.К. Младецьким*

УДК 622.74

<http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.30297.16486>

**Е.В. РУДАВИНА,**

**А.Д. ПОЛУЛЯХ,** д-р техн. наук

(Украина, Днепр, ОП «Укрнииуглеобогащение» ГП «НТЦ «Углеинновация»)

### **РЕЗУЛЬТАТЫ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ УГОЛЬНЫХ ШЛАМОВ НЕФЛОТАЦИОННОЙ КРУПНОСТИ НА ОФ УКРАИНЫ**

В рядовом угле, поступающем на обогатительные фабрики, содержится различное количество угольного шлама крупностью 0-1 мм. По данным [1] содержание класса 0-1 мм в рядовом угле марки Д составляет 3,2-18,3%, ДГ – 7,4-21,2%; Г – 6,5-25,4%; Ж – 7,2-33,0%; К – 16,7-36,5%; Т – 9,5-34,1%; ОС – 16,4-35,1%; А – 4,1-21,8%. С учетом шлагообразования угля по маркам (при глубине обогащения до 0 мм количество дополнительного шлама в соответствии с [2] составляет для марок Д, ДГ, Г – 10%; Ж, К, Т, ОС – 14%; А – 5% от рядового угля крупностью +1 мм) количество шлама может составить для угля Д – 26,5%; ДГ – 29,1%; Г – 32,9%; Ж – 42,2%; К – 45,4%; Т – 43,3%; ОС – 44,2%; А – 25,7%. При таком количестве шлама и в условиях прекращения использования сушильных установок величину влажности конечных товарных продуктов обогащения определяет влажность шламовых продуктов, присоединяемых к концентрату или отправляемых на совместное складирование с крупной породой на породные отвалы.

Следовательно, установление значений влажности обезвоживания шламовых угольных продуктов, достигаемых механическим способом обезвоживания, является актуальной производственной задачей, позволяющей ориентироваться на более эффективное обезвоживающее оборудование.

В качестве исходных данных для анализа качественных показателей рабо-