

---

**УДК 622.546.294****О.Г. КРЕМЕНЕВ, канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник, МакНИИ,  
г. Макеевка**

## **О РАСПРЕДЕЛЕНИИ МАССЫ ШАХТНОЙ ПЫЛИ ПО РАЗМЕРАМ ЧАСТИЦ В АТМОСФЕРЕ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК УГОЛЬНОЙ ШАХТЫ**

*Разработана методика определения функции распределения массы шахтной пыли по размерам частиц (содержащих естественные радионуклиды) в атмосфере горных выработок угольной шахты, приведен расчет и порядок выбора параметров для построения экспериментальной функции распределения в логарифмически вероятностной координатной сетке и проверки вида функции на соответствие логнормальному распределению (ЛНР).*

**Ключевые слова:** шахтная пыль, атмосфера горных выработок, функция распределения массы пыли по диаметрам частиц, аэродинамический эффективный диаметр частицы, модель дыхательной системы.

Радиационная опасность угольных шахт, обусловленная естественными радионуклидами, содержащимися в угольных пластах и вмещающих породах – малоизученная проблема угольной промышленности. Основной вклад в дозу облучения подземного персонала вносят короткоживущие дочерние продукты распада радона и торона (ДПР, ДПТ), а также долгоживущие радионуклиды рядов урана и тория, присутствующие в шахтной атмосфере в виде взвешенной (витающей) пыли. В суммарной дозе облучения горняков доля, обусловленная взвешенной пылью, достигает до 96% (в среднем 60%) [1]. Основными факторами, формирующими дозу внутреннего облучения горняков при ингаляционном поступлении частиц взвешенной шахтной пыли (содержащей естественные радионуклиды рядов урана-радия и тория), являются дисперсный и радионуклидный состав, а также типы химических соединений в частицах пыли [2]. Дисперсный состав шахтной пыли определяется распределением массы частиц пыли по их размерам. Зная параметры распределения, можно оценить долю осаждающихся пылевых частиц в отделах респираторного тракта человека и установить ожидаемую эффективную дозу внутреннего облучения по орга-

нам и тканям горняка. Поэтому определение функции распределения массы частиц пыли по размерам в атмосфере горных выработок угольной шахты является актуальной задачей.

Цель статьи – разработка методики определения функции распределения массы шахтной пыли по размерам частиц (содержащих естественные радионуклиды) в атмосфере горных выработок угольной шахты.

На практике свойства пылевого материала принято описывать функцией распределения  $D(\delta)$  массы материала по диаметрам частиц  $\delta$  или связанной с ней функцией  $R(\delta)$  [3]. Функция  $D(\delta)$  равна выраженному в процентах отношению массы всех частиц, диаметр которых меньше  $\delta$ , к общей массе пылевидного материала. Функция  $R(\delta)$  определяется как выраженное в процентах отношение массы всех частиц, диаметр которых больше  $\delta$ , к общей массе пыли. Графически функции распределения изображаются в виде кривых распределения: по оси абсцисс откладываются в равномерном или неравномерном масштабе значения диаметра  $\delta$  частиц, а по оси ординат – процентное содержание всех частиц, диаметр которых меньше или больше  $\delta$ , т.е. значение функции  $D(\delta)$  или  $R(\delta)$ .

Для аналитического описания кривых распределения предложены различные формулы. Академик Колмогоров А.Н. теоретически доказал справедливость логарифмически нормального закона распределения (ЛНР) для всех случаев частиц вещества, полученных механическим измельчением в течение длительного времени [3].

Функция ЛНР массы материала по диаметрам частиц имеет вид [3]:

$$D(\delta) = \frac{100}{\sqrt{2\pi} \lg \sigma} \int_{-\infty}^{\lg \delta} e^{-\frac{(\lg \delta - \lg \delta_{50})^2}{2 \lg^2 \sigma}} d \lg \delta, \quad (1)$$

где  $\delta_{50}$  – медиана распределения массы частиц, представляющая собой такой размер частиц, по которому вся масса пыли разделяется на две равные части (т.е. масса всех частиц меньших  $\delta_{50}$ , также как и масса всех частиц больших  $\delta_{50}$ , составляют 50% общей массы материала;

$\lg \sigma$  – стандартное (среднеквадратическое) отклонение логарифмов диаметров от их среднего значения  $\bar{\delta}$ :

$$\lg \sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (\lg \delta_i - \lg \bar{\delta})^2}, \quad (2)$$

$$\bar{\delta} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \delta_i, \quad (3)$$

где  $N$  – количество частиц,  $\delta_i$  – размер (диаметр)  $i$ -той частицы.

Интеграл, входящий в уравнение (1) не может быть выражен через элементарные функции. Для расчета этой функции её преобразуют в функцию нового аргумента  $t$  [3]:

$$t = \frac{\lg \delta - \lg \delta_{50}}{\lg \sigma}. \quad (4)$$

После подстановки формулы (4) в уравнение (1), получаем функцию аргумента  $t$  [3]:

$$D(\delta) = F(t) = F\left(\frac{\lg \delta - \lg \delta_{50}}{\lg \sigma}\right) = \frac{100}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t e^{-\frac{t^2}{2}} dt, \quad (5)$$

которая называется нормированной функцией нормального распределения и изменяется в пределах от 0 до 100%.

ЛНР удобно изображать графически на логарифмически вероятностной координатной сетке. По оси ординат откладываются величины  $t$  (а проставляются величины  $F(t)$ ), по оси абсцисс откладываются логарифмы диаметров частиц (а проставляются величины  $\delta$ ). Функция  $F(t)$  представлена в виде таблиц [3]. Значениям  $F(t)$  меньшим 50% соответствуют отрицательные значения  $t$ , которые откладываются вниз от начальной точки  $F(t) = F(0) = 50\%$ .

Вычерченный на такой сетке график ЛНР изображается прямой линией, поскольку выражает зависимость  $t$  от  $\lg \delta$ , которая по формуле (4) является линейной. Установленная зависимость используется для проверки функции распределения, полученной по экспериментальным данным, на соответствие ЛНР, путем построения графика экспериментального распределения в логарифмически вероятностной координатной сетке и проверки его соответствия прямой линии.

В условиях ОП «Шахта «Холодная Балка» ГП «Макеевуголь» были проведены исследования дисперсного состава шахтной пыли, витающей в атмосфере горных выработок. Исследования проводились на различных рабочих местах в различных выработках с поступающей (свежей) струей воздуха и в вентиляционных выработках при различных запыленностях воздуха. В таблице 1 приведены воздухоподающие и вентиляционные выработки с зафиксированной во время экспериментов максимальной и минимальной запыленностью воздуха.

Таблица 1

Воздухоподающие и вентиляционные выработки  
с зафиксированной во время экспериментов  
максимальной и минимальной запыленностью воздуха.

№ фильтра	Наименование горной выработки и рабочего места	Запыленность воздуха, мг/м <sup>3</sup>
Воздухоподающие выработки		
220	Клетевой ствол, верхняя посадочная площадка, рабочее место рукоятчика	12,9
218	Конвейерный ходок 4 западной разгрузочной лавы пласта $h_{10}^6$ , рабочее место между нижней нишей и пересыпом со скребкового конвейера на ленточный	48,7
Вентиляционные выработки		
221	Вентиляционный ходок 4 западной разгрузочной лавы пласта $h_{10}^6$ , рабочее место в районе верхней ниши	116,4
211	Нижняя посадочная площадка вентиляционного наклонного квершлага на пласт $h_{10}^6$ горизонта 750 м	32,5

Дисперсность пыли определяли методом микроскопического исследования шахтной пыли, собранной на фильтр АФА-РСП-10 аспирационным методом. Фильтр с осевшей пылью получали с помощью радиометра РГА-09МШ, который применялся для измерения эквивалентной равновесной активности радона ( $ЭРОА$ ), объемной активности ( $ОА$ ) радона, а также дочерних продуктов распада радона и трона ( $ДПР$ ,  $ДПТ$ ) в тех же рабочих местах контролируемых выработок, где измерялась запыленность воздуха. Принцип работы радиометра основан на отборе проб пыли шахтной атмосферы с помощью встроенной в радиометр воздуходувки и последующем измерении активности пылевого осадка на фильтре.

На поверхности фильтра выбиралось достаточно большое количество круговых площадок, представлявших собой видимое поле зрения микроскопа в виде круга диаметром 450 мкм. В каждой круговой площадке производился подсчет частиц и их распределение по диапазонам фракций с

записью в специальную таблицу. Диапазон фракций неравномерный, его выбор обусловлен размерами фракций частиц пыли, оседающих в отделах респираторного тракта человека. Отделы респираторного тракта человека в соответствии с дозиметрической моделью дыхательной системы [4] представлены в виде набора последовательно расположенных фильтров, обладающих специфическими свойствами эффективного улавливания аэрозольных частиц. Респираторный тракт человека в этой модели представлен в виде четырех анатомических отделов, причем первый, третий и четвертый отделы включают по два подотдела. Схематическое изображение респираторного тракта и размеры эффективных аэродинамических диаметров частиц осаждения  $D_{50}$  в отделах дыхательного тракта приведены на рис.1 [5].

1. Экстраторакальный отдел (ЕТ):
  - передняя часть носового хода  $ЕТ_1$ , эффективный аэродинамический диаметр частиц осаждения  $D_{50} = 9,0$  мкм;
  - задняя часть носового хода  $ЕТ_2$ ,  $D_{50} = 5,8$  мкм;
2. Трахеобронхиальный отдел (ВВ), включает трахею и бронхи  $D_{50} = 4,7$  мкм;
3. Бронхиальный отдел (bb):
  - первичные бронхи,  $D_{50} = 3,3$  мкм;
  - терминальные бронхиолы,  $D_{50} = 1,1$  мкм;
4. Альвеоларно-интерстициальный отдел (АI):
  - респираторные бронхиолы,  $D_{50} = 0,6$  мкм;
  - альвеолы,  $D_{50}$  - меньше 0,6 мкм.

№ фильтра	$D_{50}$ , мкм	Отдел дыхательного тракта
1	9,0	Передняя часть носового хода ( $ЕТ_1$ )
2	5,8	Задняя часть носового хода ( $ЕТ_2$ )
3	4,7	Трахея и бронхи (ВВ)
4	3,3	Первичные бронхиолы (bb)
5	1,1	Терминальные бронхиолы (bb)
6	0,6	Респираторные бронхиолы (АI)
7	меньше 0,6	Альвеолы (АI)

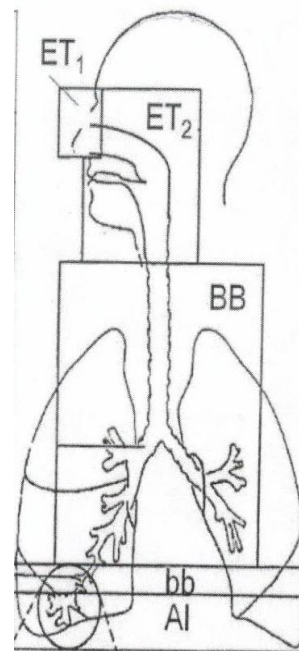


Рис. 1. Схематическое изображение отделов респираторного тракта и размеры эффективных аэродинамических диаметров частиц осаждения  $D_{50}$ , соответствующие отделам дыхательного тракта

Данные для построения функции распределения масс частиц пыли по диаметрам в горных выработках, приведенных в табл.1, представлены в таблицах 2-5.

Таблица 2

Распределение частиц пыли по размерам на 13 круговых площадках поверхности фильтра №220 в пробе, отобранной на рабочем месте рукоятчика посадочной площадке клетового ствола ОП «Шахта «Холодная Балка» ГП «Макееуголь»

$\delta_i$ , МКМ	32.4	21.6	17.3	12.9	10.8	8.64	6.48	4.32	2.16	1.08	0.216	AMAD, МКМ
a, МКМ	<b>40,5</b>	<b>27</b>	<b>21,6</b>	<b>16,2</b>	<b>13,5</b>	<b>10,8</b>	<b>8,1</b>	<b>5,4</b>	<b>2,7</b>	<b>1,35</b>	<b>0,27</b>	
$\Delta i$ №	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>
<b>1</b>				3	3	3	15	40	62	76	146	<b>5,40</b>
<b>2</b>				1	1	5	27	107	115	255	282	<b>5,40</b>
<b>3</b>	1			1	2	9	18	33	46	114	181	<b>5,40</b>
<b>4</b>		1	1	3	2	5	21	35	59	273	108	<b>7,560</b>
<b>5</b>			2		2	1	21	33	64	118	50	<b>5,40</b>
<b>6</b>		1		4	3	4	9	53	61	60	74	<b>9,720</b>
<b>7</b>		1		3	5	10	18	75	104	35	91	<b>7,560</b>
<b>8</b>				3	3	5	13	31	49	34	64	<b>7,560</b>
<b>9</b>		2	2	2	2	7	24	36	55	18	60	<b>11,85</b>
<b>10</b>			1	4	4	1	7	22	22	23	59	<b>11,85</b>
<b>11</b>			2	8	2	7	19	29	40	46	64	<b>11,85</b>
<b>12</b>				1	4	7	29	38	47	114	58	<b>5,40</b>
<b>13</b>		1	1	2	4	10	25	35	53	86	135	<b>7,560</b>
$N_{\Delta i}$	1	6	9	35	37	74	246	562	777	1252	1372	$\Sigma=4371$
$m_{\Delta i}$	34012	60468	46602	76159	46583	47722	130724	88515	15307	3080	27,03	$\Sigma=54924$ 2
$\varphi(\delta)$	0,0619	0,1101	0,0848	0,1387	0,0848	0,0869	0,2380	0,1611	0,0279	0,0056	0,00006	AMAD= 8,64-6,48 =7,56
$D(\delta)$	0,9998	0,9378	0,8278	0,7431	0,6044	0,5196	0,4326	0,1946	0,0335	0,00566	0,00006	

Таблица 3

Распределение частиц пыли по размерам на 13 круговых площадках поверхности фильтра № 218 в пробе, отобранной на рабочем месте в районе пересыпа №6 конвейерного ходка 4 западной разгрузочной лавы пласта  $h_{10}^6$  ОП «Шахта «Холодная Балка» ГП «Макеевуголь»

$\delta$ , МКМ	32.4	21.6	17.3	12.9	10.8	8.64	6.48	4.32	2.16	1.08	0.216	AMAD, МКМ
$a$ , МКМ	40,5	27	21,6	16,2	13,5	10,8	8,1	5,4	2,7	1,35	0,27	
$\Delta i$ $N_i$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1					11	25	132	136	703	731	246	<b>5,40</b>
2				1	3	7	115	196	620	860		<b>5,40</b>
3				1	2	11	73	215	396	537	322	<b>5,40</b>
4				1	9	18	133	315	540	482	102	<b>5,40</b>
5				1	4	7	48	233	697	769		<b>5,40</b>
6				1	2	6	40	98	258	762	866	<b>5,40</b>
7					1	28	84	172	412	434	353	<b>5,40</b>
8				1	2	9	46	186	450	385	73	<b>3,24</b>
9					1	8	53	121	277	261	3	<b>5,40</b>
10				1	1	12	65	151	370	355	125	<b>5,40</b>
11				1	4	18	104	278	405	312	235	<b>5,40</b>
12				1	2	11	49	167	322	288	213	<b>5,40</b>
13				1	2	14	33	142	225	226		<b>5,40</b>
$N_{\Delta i}$				10	44	174	1025	2510	5675	6402	2539	$\Sigma=18379$
$m_{\Delta i}$				21770	55396	112212	544685	395325	111798	15749	50	$\Sigma=1256985$
$\varphi(\delta)$				0,0173	0,0440	0,0893	0,4333	0,3145	0,0889	0,0125	0,00004	AMAD= 6,48-4,32 =5,40
$D(\delta)$				0,9999	0,9826	0,9385	0,8492	0,4159	0,1014	0,0125	0,00004	

Таблица 4

Распределение частиц пыли по размерам на 13 круговых площадках  
поверхности фильтра № 221 в пробе, отобранной на рабочем месте  
сопряжения выхода из верхней ниши и вентиляционного ходка  
4 западной разгрузочной лавы пласта  $h_{10}^6$   
ОП «Шахта «Холодная Балка» ГП «Макеевуголь»

$\delta_i$ , МКМ	32.4	21.6	17.3	12.9	10.8	8.64	6.48	4.32	2.16	1.08	0.216	AMAD, МКМ
a, МКМ	40,5	27	21,6	16,2	13,5	10,8	8,1	5,4	2,7	1,35	0,27	
$\Delta i$ №	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1			1	2	4	9	38	122	390	551	582	5,40
2			2	3	7	11	89	146	372	385	246	5,40
3				1	6	13	74	138	333	288	50	5,40
4		1	1	3	8	7	63	165	444	854		5,40
5				1	5	9	78	151	320	557	340	5,40
6			1	4	12	15	103	175	317	502	641	5,40
7		1	1	2	5	13	115	193	399	539	376	5,40
8		1	1	4	10	15	133	237	502	276		3,24
9		1	2	1	6	15	118	186	414	327	100	5,40
10				1	3	6	94	168	373	306	449	5,40
11		1	1	2	4	10	94	181	347	686	360	5,40
12			1	3	5	11	68	147	363	480	191	5,40
13			1	1	4	11	71	211	378	447		5,40
$N_{\Delta i}$		5	12	28	79	145	1138	2220	4952	6198	3335	$\Sigma=18112$
$m_{\Delta i}$		50390	62136	60956	99461	93510	604133	349650	97554	15247	65,7	$\Sigma=143370$ 3
$\varphi(\delta)$		0,0351	0,0433	0,0425	0,0694	0,0652	0,4218	0,2439	0,0680	0,0106	0,00004	AMAD= 6,48- 4,32=5,40
$D(\delta)$		0,9999	0,9648	0,9215	0,8790	0,8096	0,7444	0,3226	0,0787	0,0167	0,00004	



Таблица 5

Распределение частиц пыли по размерам на 13 круговых площадках поверхности фильтра № 211 в пробе, отобранной на рабочем месте нижней посадочной площадки вентиляционного наклонного квершлага на пласт  $h_{10}^6$  ОП «Шахта «Холодная Балка» ГП «Макеевуголь»

$\delta_3$ , мкм	32.4	21.6	17.3	12.9	10.8	8.64	6.48	4.32	2.16	1.08	0.216	AMAD, мкм
$a$ , мкм	40,5	27	21,6	16,2	13,5	10,8	8,1	5,4	2,7	1,35	0,27	
$\Delta i$ $N_{\Delta i}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1			2	2	4	13	41	107	409	704	120	5,40
2		1	4	6	7	12	107	155	279	417	63	5,40
3			1	4	7	23	113	208	332	459		5,40
4		1	1	3	5	21	113	210	401	542	646	5,40
5			1	2	4	10	48	105	315	367	755	5,40
6			2	3	7	28	93	181	627	763	947	5,40
7		1	1	2	3	22	56	174	347	508	526	5,40
8			1	1	5	11	41	103	401	483	737	5,44
9				1	2	4	61	123	489	509	683	5,40
10		1	2	4	3	16	81	190	367	417	706	5,40
11					1	4	42	116	368	414	416	5,40
12			1	2	3	12	49	122	322	375	494	5,40
13	1	1	1	4	8	20	64	118	181	231	205	7,56
$N_{\Delta i}$	1	5	17	34	60	200	909	1912	4838	5189	6303	$\Sigma=20468$
$m_{\Delta i}$	34012	50390	88026	74018	75540	128980	483043	301140	95308	15225	124	$\Sigma=1345806$
$\varphi(\delta)$	0,0253	0,0374	0,0654	0,0545	0,0561	0,0958	0,3589	0,2238	0,0708	0,0113	0,00009	AMAD= 6,48-4,32 =5,40
$D(\delta)$	0,9999	0,9746	0,9372	0,8718	0,8168	0,7607	0,6649	0,3060	0,0822	0,0114	0,00009	

Обозначения в таблицах 2-5:

$\delta_3$ , мкм – размер аэродинамического эффективного диаметра частицы,  $\delta_3=0,8l$ , где  $l$  - длина частицы;  $N_{\Delta i}$  – количество частиц пыли в диапа-

зоне  $\Delta_i$ ;  $m_{\Delta_i}$  – масса частиц пыли в диапазоне  $\Delta_i$ ; масса одной частицы  $m = \frac{\pi}{6} \times \delta^3 \rho$ , где  $\rho$  – плотность частиц пыли, кг/м<sup>3</sup>;  $\varphi(\delta)$  – функция плотности

распределения массы пыли по диаметрам частиц  $\varphi(\delta) = \frac{m_{\Delta_i}}{\sum m_{\Delta_i}}$ ;

$D(\delta)$  – функция распределения массы пыли по диаметрам частиц, АМАД ( $\delta_{50}$ ) – аэродинамический медианный по активности диаметр массы частиц.

На основании экспериментальных данных, приведенных в таблицах 2-5, рассчитываются исходные данные для построения экспериментальной функции распределения на логарифмически вероятностной координатной сетке (по оси абсцисс – логарифмы диаметров частиц (а проставляются значения  $\delta$ ), по оси ординат – значения  $t$  (а проставляются значения  $F(t)$ ).

В таблице 6 в качестве примера показана методика расчета и выбора параметров  $t$ ,  $F(t)$ ,  $\sigma$ ,  $\delta_{50}$ ,  $\Delta_i$ ,  $\bar{\delta}$  для построения экспериментальной функции распределения на логарифмически вероятностной координатной сетке.

Таблица 6

Расчет данных для построения экспериментальной функции распределения массы пыли по диаметрам частиц на рабочем месте нижней посадочной площадки вентиляционного наклонного квершлага на пласт  $h_{10}^6$  ОП «Шахта «Холодная Балка» ГП «Макеевуголь» (фильтр №211)

№ $\Delta_i$	Диаметр частицы $\delta$ , мкм	$(\delta - \bar{\delta})$	$(\delta - \bar{\delta})^2$	$\varphi(\delta)$	$t = \frac{\lg \delta - \lg \delta_{50}}{\lg \sigma}$	$F(t),$ $D(\delta),$ %
1	0,216	10,50	110,3	0,00009	-2,950	0
2	1,08	9,638	92,89	0,0113	-1,538	6,2
3	2,16	8,558	73,24	0,0708	-0,929	17,6
4	4,32	6,398	40,94	0,2238	-0,321	37,4
5	6,48	4,238	17,96	0,3589	0,035	51,4
6	8,64	2,078	4,318	0,0958	0,287	60,9
7	10,8	0,082	0,007	0,0561	0,483	68,6
8	12,9	2,182	4,761	0,0545	0,639	73,9
9	17,3	6,582	43,32	0,0654	0,897	81,5
10	21,6	10,88	118,4	0,0374	1,092	86,2
11	32,4	21,68	470,1	0,0253	1,510	92,6

$$\bar{\delta} = 10,72; \sigma = \frac{1}{N-1} \sqrt{(\delta - \bar{\delta})^2} = 3,124; \lg \sigma = 0,4948.$$

Для вычисления параметра  $t$ , необходимо знать величину медианы  $\delta_{50}$ . Из табл. 5 видим, что медиана  $\delta_{50}$  (AMAD) массы витающей пыли находится в диапазоне 6,48 - 4,32 мкм (среднее значение 5,4 мкм). Расчет точного значения медианы  $\delta_{50}$  (AMAD) производится исходя из определения медианы распределения массы частиц: масса  $m_1$  частиц пыли размером меньше  $\delta_{50}$  равна массе  $m_2$  частиц пыли размером, больше  $\delta_{50}$ . Масса пыли  $m$  равна площади фигуры, ограниченной сверху функцией  $\varphi(\delta)$ , снизу осью абсцисс, справа и слева ординатами  $\delta_{min}$ ,  $\delta_{max}$ .

$$m_1 = \int_{\delta_{max}}^{\delta_{50}} \varphi(\delta) d\delta; \quad m_2 = \int_{\delta_{min}}^{\delta_{50}} \varphi(\delta) d\delta \quad (6)$$

$$m_1 = \varphi_{11}(\delta_{11}-\delta_{10}) + \varphi_{10}(\delta_{10}-\delta_9) + \varphi_9(\delta_9-\delta_8) + \varphi_8(\delta_8-\delta_7) + \varphi_7(\delta_7-\delta_6) + \\ + \varphi_6(\delta_6-\delta_5) + \varphi_5(\delta_5-\delta_{50}) = 3,490 - 0,3589 * \delta_{50};$$

$$m_2 = \varphi_5(\delta_{50}-\delta_4) + \varphi_4(\delta_4-\delta_3) + \varphi_3(\delta_3-\delta_2) + \varphi_2(\delta_2-\delta_1) + \varphi_1(\delta_1-\delta_0) = \\ = 0,3589 * \delta_{50} - 0,9803.$$

Исходя из условия  $m_1 = m_2$ , получаем  
 $3,490 - 0,3589 * \delta_{50} = 0,3589 * \delta_{50} - 0,9803$ ,  
откуда  $\delta_{50} = 6,23$  мкм,  $lg \delta_{50} = 0,79$ .

Для всех четырех горных выработок по разработанной методике были построены графики в логарифмически вероятностной координатной сетке, приведенные на рис. 2.

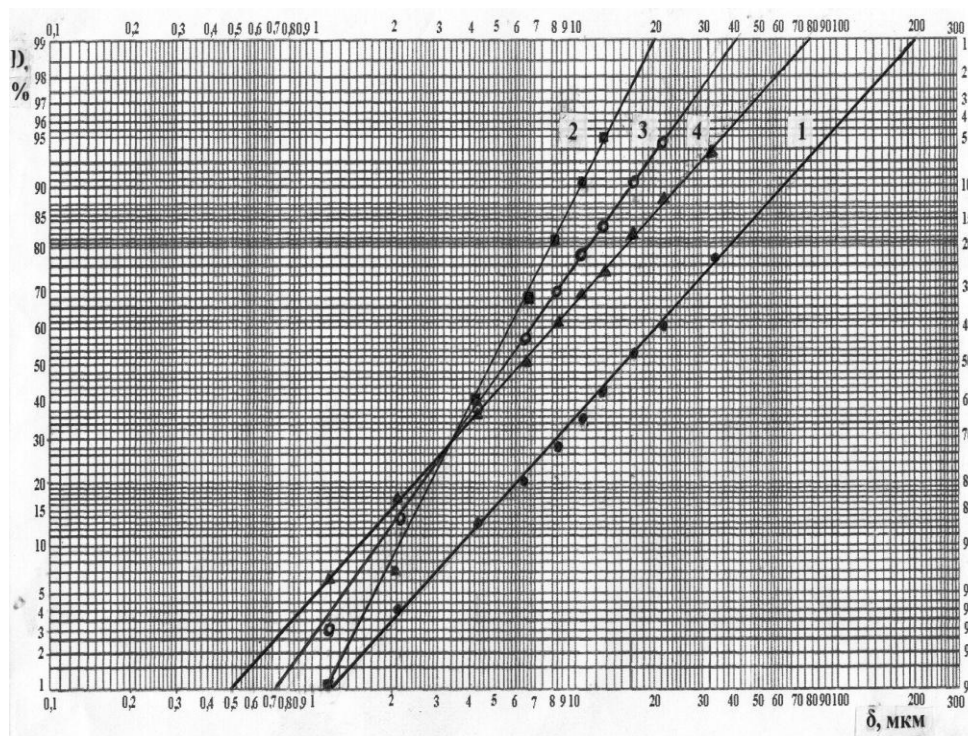


Рис. 2. Распределение массы шахтной пыли по размерам частиц в атмосфере горных выработок угольной шахты:

1 - клетевой ствол, посадочная площадка, рабочее место рукоятчика, запыленность воздуха  $12,9 \text{ мг/м}^3$  (проба №220);

2 - конвейерный ходок 4 западной разгрузочной лавы пл.  $h_{10}^6$ , рабочее место между пересыпом со скребкового конвейера на ленточный и нижней нишей лавы, запыленность воздуха  $48,7 \text{ мг/м}^3$  (проба №218);

3- вентиляционный ходок 4 западной разгрузочной лавы пл.  $h_{10}^6$ , рабочее место в районе верхней ниши лавы, запыленность воздуха  $116,4 \text{ мг/м}^3$  (проба №221);

4 - нижняя посадочная площадка вентиляционного наклонного квершлага на пл.  $h_{10}^6$  гор.750 м, запыленность воздуха  $32,5 \text{ мг/м}^3$  (проба №221).

## ВЫВОДЫ

Шахтные исследования показали, что разработанная методика позволяет осуществлять проверку функции распределения, имеющую уни-модальный вид (обладающую одним максимумом), на соответствие ЛНР путем проверки вида графика функции распределения, построенного в логарифмически вероятностной координатной сетке, прямой линии.

В воздухоподающих и вентиляционных выработках ОП «Шахта «Холодная Балка» ГП «Макеевуголь» установлен прямолинейный характер графиков функций распределения массы шахтной пыли от размера частиц пыли. Это свидетельствует о том, что взвешенная пыль в обследованных выработках имеет логарифмически нормальный вид функции распределения массы пыли от диаметра частиц. Наиболее крутой наклон линии графика №2 к оси ординат (фильтр №218) свидетельствует о более однородном (по сравнению с другими выработками) дисперсном составе взвешенной пыли в конвейерном ходке 4 западной разгрузочной лавы пласта  $h_{10}^6$  по которому подается свежий воздух в лаву. Наименьший медианный диаметр  $\delta_{50}$  (равный  $4,96 \text{ мкм}$ ) и более высокое расположение над другими графиками свидетельствует о более измельченной пыли в воздухе выработки. Концентрация пыли несущественно влияет на наклон графика, наиболее существенно на наклон влияет отличие диапазона размеров частиц пыли (дисперсность пыли).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Короленко Е. Е. Закономерности формирования радиационной обстановки и ее контроль в угольных шахтах Украины: дис. канд. техн. наук: спец. 05.26.01 «Охрана труда» / Короленко Елена Евгеньевна. – Макеевка, 2001. – 155с.
2. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). Санитарные правила и нормативы: СанПиН 2.6.1.2523-09. – Офиц. изд. – М.: Минздрав России, 2009. – с. 73. – (Нормативный документ Минздрава России).
3. Коузов П. А. Основы анализа дисперсного состава промышленных пылей и измельченных материалов / П.А.Коузов. - Л.: Химия, 1987. - 264 с.
4. ICRP Publication 66. Human Respiratory Tract Model for Radiological Protection.– Annals of the ICRP, volume 24. Nos 1-3, 1994.
5. Импактор-фантом респираторного тракта человека /А. Е. Карев, А. Г. Цовьянов, Б. А. Кухта (RU), Патент RU 2509375 [Электронный ресурс]: Патентный поиск, поиск патентов на изобретения – FindPatent.RU 2012-2015. – Режим доступа к патенту: <http://www.findpatent.ru/patent/250/2509375.html>.
6. Хухрина Е. Б. Борьба с силикозом / Хухрина Е. Б. – М.: Изд-во АН СССР, 1955.– Т.2. – С. 205 - 214.

Получено: 20.05.14

*Розроблено методику визначення функції розподілу маси шахтного пилу за розмірами частинок (що вміщують природні радіонукліди) в атмосфері гірничих виробок вугільної шахти, приведено розрахунок і порядок вибору параметрів для побудови експериментальної функції розподілу у логарифмічно імовірній координатній сітці та перевірки виду функції на відповідність логнормальному розподілу (ЛНР).*

**Ключові слова:** шахтний пил, атмосфера гірничих виробок, функція розподілу маси пилу за діаметрами частинок, аеродинамічний ефективний діаметр частинки, модель дихальної системи.

*The methodology for determination of distribution function of mine dust mass due to grain sizes (which contain naturally occurring radionuclides) in mine working air has been worked out, both the calculation and the way of parameter selection for construction of experimental distribution function in loga-*

*rithmic probability graticube and examination of function formula for compliance with logarithmically normal distribution (LND) have been set out.*

**Keywords: mine dust, mine working air, distribution function of mine dust mass due to particle sizes, aerodynamic effective grain size, respiratory system model.**