УДК 504:351.77

05.00.00 Технические науки

ПОСТРОЕНИЕ ЭМПИРИЧЕСКОЙ ЗАВИСИМОСТИ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ПЫЛИ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Мурзинов Валерий Леонидович д.т.н., профессор кафедры пожарной и промышленной

безопасности

SPIN-код: 3422-4530

E-mail: dr.murzinov@yandex.ru

Манохин Вячеслав Яковлевич

д.т.н., профессор кафедры пожарной и промышленной

безопасности

E-mail: manohinprof@mail.ru

Головина Елена Ивановна

заместитель декана по учебной работе факультета инженерных систем и сооружений, старший преподаватель кафедры пожарной и промышленной

безопасности

ORCID iD 0000-0002-2458-2039

E-mail: u00111@vgasu.vrn.ru

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный технический

университет», г. Воронеж, Россия

В статье рассматривается модель гранулометрического состава пыли литейного производства. Использовался метод гранулометрического анализа, в основе которого лежит зависимость между размером и скоростью движения тела под действием гравитационных или центробежных сил. Определение гранулометрического состава предоставленной пробы порошка производилось методом лазерной дифракции, реализуемой на лазерном анализаторе частиц Fritsch NanoTec «ANALISETTE 22». Получена модель распределения частиц пыли по размерам

Ключевые слова: РАБОЧАЯ ЗОНА, ПЫЛЬ, ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО, ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ, ГАММА-РАСПРЕДЕЛЕНИЕ, МЕТОД ФИКСИРОВАННЫХ ТОЧЕК

Doi: 10.21515/1990-4665-130-010

UDC 504:351.77

Technical Sciences

BUILDING AN EMPIRICAL DEPENDENCE OF THE GRANULOMETRIC COMPOSITION OF FOUNDRY DUST

Murzinov Valery Leonidovich

Doctor of Engineering sciences, Professor at the

Department of Fire and Industrial Safety

SPIN-code: 3422-4530

E-mail: dr.murzinov@yandex.ru

Manokhin Vyacheslav Yakovlevich

Doctor of Engineering sciences, Professor at the

Department of Fire and Industrial Safety

E-mail: manohinprof@mail.ru

Golovina Elena Ivanovna

Vice-Dean of Curriculum, Faculty of Engineering Systems and Structures, Assistant Professor at the

Department of Fire and Industrial Safety ORCID iD 0000-0002-2458-2039

E-mail: u00111@vgasu.vrn.ru

Federal state budgetary educational institution of higher professional education "Voronezh state technical

University", Voronezh, Russia

The article considers the model of granulometric composition of foundry dust. We used the method of particle size analysis, which is based on the dependence between the size and the velocity of a body under the action of gravitational or centrifugal forces. Determination of granulometric composition of the given sample of powder was made using the laser diffraction method, implemented on a laser particle analyzer, Fritsch NanoTec "ANALISETTE 22". A model of dust particle size distribution has been obtained

Keywords: WORKING AREA, DUST, FOUNDRY, GRANULOMETRIC COMPOSITION, GAMMA DISTRIBUTION, THE METHOD OF FIXED POINTS

Технологические процессы литейного производства характеризуются большим числом операций, при выполнении которых выделяются пыль, аэрозоли и газы [2]. Источниками загрязнений являются

плавильные агрегаты, печи термической обработки, сушила для форм, стержней и ковшей и т.п. В процессе плавки металла образуются опасные и интенсивные выделения. Химический состав пыли и отходящих газов, выброс загрязняющих веществ, различен и зависит от состава металлозавалки, степени ее загрязнения, состояния футеровки печи, технологии плавки, выбора энергоносителей [6,7].

Состояние воздуха рабочей зоны литейного производства, как правило, не соответствует нормативным требованиям[1]. Это определяется сложностью процессов производства в целом. Целью исследования является оценка дисперсного состава пыли, который определяет гигиеническое состояние рабочей зоны литейного производства.

Опасность пыли для здоровья человека на производстве определяется ее гранулометрическим составом, т.е. количественным соотношением в ней фракций пыли различных размеров. Более крупные частицы пыли задерживаются на верхних дыхательных путях, а частицы с размерами менее 10 мкм проникают в альвеолы легких. Класс опасности —3, ПДК = 0,5 мг/м3 [3,4,5].

Для определения размеров частиц пыли использовался метод гранулометрического анализа. Определение гранулометрического состава предоставленной пробы порошка проводилось методом дифракции, реализуемой на лазерном анализаторе частиц Fritsch NanoTec **«ANALISETTE** 22»B Воронежском государственном техническом университете в центре коллективного пользования им. проф. Ю.М. Борисова (рис. 1) с пакетом управляющих программ Fritsch Mas control, в соответствии с требованиями ISO 13320-2009.



Puc. 1. Общий вид лазерного анализатора Fritsch NanoTec «ANALISETTE 22»

Для исследования частиц в анализаторе применялся принцип сравнения лазерного излучения от образцов и объекта исследования. В работе использовалась модель Фраунгофера. Данная модель используется только для образцов с частицами крупнее 0,1 мкм (100 нм).

По результатам проведенного анализа определен гранулометрический состав представленной пробы. Результаты, сформированные программным обеспечением анализатора Fritsch NanoTec «ANALISETTE 22», приведены в табл. 1.

Таблица 1 Гранулометрический состав пробы

Значение,	размер	Значение,	размер	Значение,	размер
%	частиц, мкм	%	частиц, мкм	%	частиц, мкм
5.0%	<= 19.285мкм	10.0%	<=26.295мкм	15.0%	<=30.679мкм
20.0%	<=34.802мкм	25.0%	<=38.617мкм	30.0%	<=42.615мкм
35.0%	<=46.354мкм	40.0%	<=50.105мкм	45.0%	<=53.895мкм
50.0%	<=57.549мкм	55.0%	<=61.440мкм	60.0%	<=65.570мкм
65.0%	<=70.497мкм	70.0%	<=75.998мкм	75.0%	<=82.355мкм
80.0%	<=89.220мкм	85.0%	<=97.614мкм	90.0%	<=115.049мкм
95.0%	<=162.398мкм	99.0%	<=189.947мкм		

В таблице 1 фиксирован размер частиц, в результате получено, что частицы размером меньше или равно 115.049 мкм в пробе содержится около 90 %, а крупных частиц (более 115.049 мкм) 10%. Частицы такого размера являются опасными для здоровья человека, так как вызываю пневмокониозы, а при наличии пленки SiO₂ силикозы.

В табл. 2 показаны результаты обработки исходного статистического материала для получения эмпирической зависимости, связывающей долевое содержание и размер частиц предоставленной пробы.

Таблица 2 Долевое содержание частиц зафиксированного размера в пробе

	Исходные данные			Результат вычислений		
i	$ \phi_i, долевое $ содержани е частиц	d_{i} , размер частиц, <i>мкм</i>	j	$d_j = \frac{d_i + d_{i+1}}{2}$, мкм	$f_S(d_j) = \frac{\varphi_{i+1} - \varphi_i}{d_{i+1} - d_i}$	
0.	0,0	0,0	0	_	_	
1.	0,05	≤ 19,29	1	9,6	0,0026	
2.	0,1	≤ 26,30	2	22,8	0,0071	
3.	0,15	≤ 30,68	3	28,5	0,0114	
4.	0,2	≤ 34,80	4	32,7	0,0121	
5.	0,25	≤ 38,62	5	36,7	0,0131	
6.	0,3	≤ 42,62	6	40,6	0,0125	
7.	0,35	≤ 46,35	7	44,5	0,0134	
8.	0,4	≤ 50,11	8	48,2	0,0133	
9.	0,45	≤ 53,90	9	52,0	0,0132	
10.	0,5	≤ 57,55	10	55,7	0,0137	
11.	0,55	≤ 61,44	11	59,5	0,0129	
12.	0,6	≤ 65,57	12	63,5	0,0121	
13.	0,65	≤ 70,50	13	68,0	0,0101	
14.	0,7	≤ 76,00	14	73,2	0,0091	
15.	0,75	≤ 82,36	15	79,2	0,0079	
16.	0,8	≤ 89,22	16	85,8	0,0073	
17.	0,85	≤ 97,61	17	93,4	0,0060	
18.	0,9	≤ 115,05	18	106,3	0,0029	
19.	0,95	≤ 162,40	19	138,7	0,0011	
20.	0,99	≤ 189,95	20	180,7	0,0014	

Для большей наглядности, данные таблицы 2 представлены в графическом виде на рис. 3 и рис. 4.

Подходы к моделированию состава пыли были осуществлены в работах [9, 10]. В этих работах показано, что в рабочей зоне литейных цехов кроме пыли выделяется значительное количество загрязняющих веществ. Наиболее неблагополучными участками с позиции выделения пыли являются камеры и решетки. Однако с позиции моделирования отмечено, что в составе пыли весовое содержание фракций с диаметром до 20 мкм достигает 43,8% по массе. Даная пыль наиболее опасна для здоровья работающего персонала и создает проблемы при очистке воздуха.

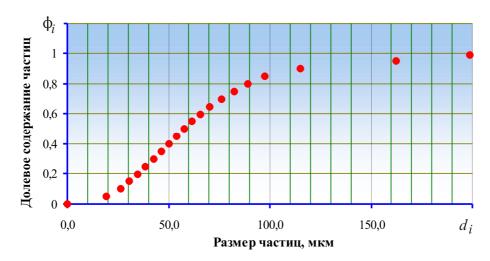


Рис.3. Графическое представление данных табл. 3 (аналог функции распределения [8]).

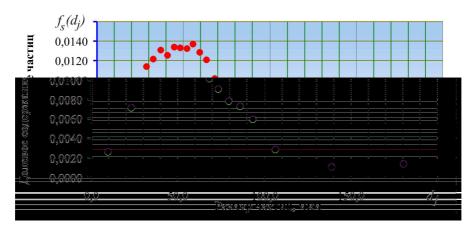


Рис. 4. Графическое представление данных табл. 3 (аналог функции плотности распределения [8]).

Для построения эмпирической зависимости, связывающей размер частицы и её долевое содержание в предоставленной пробе, были приняты следующие условные обозначения:

 ϕ_i – долевое содержание частиц в предоставленной пробе;

 d_i — фиксированный диаметр, полученный на лазерном анализаторе частиц пыли Fritsch NanoTec «ANALISETTE 22» с пакетом управляющих программ Fritsch Mas control, *мкм*;

 $Q_{\rm S}(d_{\rm i})$ — эмпирическая функция, построенная по значениям табл. 3, является аналогом функции распределения для случайной величины;

 $Q_{N}(d_{i})$ – функция нормального закона распределения;

 $Q_{U}(d_{i})$ – функция нормального усечённого закона распределения;

 $Q_{\Gamma}(d_i)$ – функция Гамма-распределения;

 $Q_{\scriptscriptstyle B}(d_{\scriptscriptstyle i})$ – функция распределения Вейбулла;

 $f_{S}(d_{j})$ — эмпирическая функция плотности распределения, являющейся статистическим аналогом функции плотности распределения;

 $f_{\scriptscriptstyle N}(d_{\scriptscriptstyle J})$ – функция плотности нормального закона распределения;

 $f_{\scriptscriptstyle U}\!\left(d_{\scriptscriptstyle j}\right)$ – функция плотности нормального усечённого закона распределения;

 $f_{\Gamma}(d_i)$ – функция плотности Гамма-распределения;

 $f_{B}(d_{j})$ – функция плотности распределения Вейбулла;

 d_i – средний диаметр, мкм.

Расположение точек на графике на рис. 3 и рис. 4 по своей сущности представляют собой функцию распределения и функцию плотности распределения, которые являются основополагающими в теории вероятности. Существуют различные виды функций распределения. Наиболее употребительными, обладающими высокой гибкостью, является функция нормального распределения; функция нормального усечённого

распределения; функция гамма-распределения; функция распределения Вейбулла.

Анализ применения таких функций как, степенные, логарифмические, показательные и т.д., показал, что эмпирические зависимости, построенные на этих функциях, недостаточно качественно описывают статистические данные.

Вид графического представления статистики очень напоминает функцию распределения, относящуюся к теории вероятности. Поэтому можно с большой долей уверенности использовать законы распределения из теории вероятности для моделирования гранулометрического состава пыли. Были рассмотрены наиболее употребительные законы распределения, такие как

1) нормальные закон распределения:

$$Q_N(d) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \operatorname{erf}\left(\frac{d - m_x}{\sigma_x \sqrt{2}}\right),\tag{1}$$

где $\operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_{0}^{x} \exp(-t^{2}) dt$ — функция ошибок, m_{x} и σ_{x} — параметры распределения.

$$f_N(d) = \frac{\partial}{\partial d} [Q_N(d)] = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} \exp\left(\frac{d - m_x}{\sigma_x \sqrt{2}}\right)^2, \, \text{MKM}^{-1}.$$
 (2)

2) усечённы нормальный закон распределения:

$$Q_{U}(d) = 1 - \frac{1 - \operatorname{erf}\left(\frac{d - m_{x}}{\sigma_{x}\sqrt{2}}\right)}{1 + \operatorname{erf}\left(\frac{m_{x}}{\sigma_{x}\sqrt{2}}\right)}.$$
(3)

$$f_{U}(d) = \frac{\partial}{\partial d} [Q_{U}(d)] = \frac{\sqrt{2}}{\sigma_{x} \sqrt{\pi}} \frac{\exp\left(\frac{d - m_{x}}{\sigma_{x} \sqrt{2}}\right)^{2}}{1 + \operatorname{erf}\left(\frac{m_{x}}{\sigma_{x} \sqrt{2}}\right)}, \, m\kappa m^{-1}.$$

$$(4)$$

3) Закон гамма-распределения:

$$Q_{\Gamma}(d) = \frac{\lambda^k}{\Gamma(k)} \int_0^d t^{k-1} \exp(-\lambda \cdot t) dt, \qquad (5)$$

где $\Gamma(k) = \int_0^1 \left(\ln\left(\frac{1}{x}\right) \right)^{k-1} dx$ – гамма-функция, λ и k – параметры распределения.

$$f_{\Gamma}(d) = \frac{\partial}{\partial d} [Q_{\Gamma}(d)] = \frac{\lambda^k}{\Gamma(k)} d^{k-1} \exp(-\lambda \cdot d), \, \text{MKM}^{-1}.$$
 (6)

4) Закон распределения Вейбулла:

$$Q_B(d) = 1 - \exp(-\lambda \cdot d^k). \tag{7}$$

$$f_B(d) = \frac{\partial}{\partial d} [Q_B(d)] = \lambda \cdot d^k \frac{k}{d} \exp(-\lambda \cdot d^k), \text{ MKM}^{-1}.$$
 (8)

Для получения эмпирической зависимости на основании нормального закона (1) применим метод выбранных точек. В качестве пробных точек примем точки: 0,35(46) и 0,65(70). Составим систему из двух уравнений для формулы (1)

$$0.35 = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \operatorname{erf} \left(\frac{46 - m_{x}}{\sigma_{x} \sqrt{2}} \right)$$

$$0.65 = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \operatorname{erf} \left(\frac{70 - m_{x}}{\sigma_{x} \sqrt{2}} \right)$$
(9)

решением которой будет: $m_x = 59$ мкм; $\sigma_x = 31$ мкм, и подставляя эти параметры в формулы (1) и (2), получим эмпирические зависимости для исходного статистического материала (табл. 2).

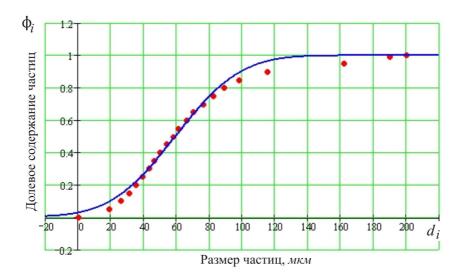


Рис. 3. Нормальный закон. Функция распределения с параметрами $m_x = 59$ $m\kappa m$; $\sigma_x = 31~m\kappa m$.

$$Q_N(d) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \operatorname{erf}\left(\frac{d-59}{31\sqrt{2}}\right).$$
 (10)

$$f_N(d) = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} \exp\left(\frac{d-59}{31\sqrt{2}}\right)^2. \tag{11}$$

Функция (10) показана на рис. 3, а функция (11) на рис. 4 совместно с экспериментальными точками.

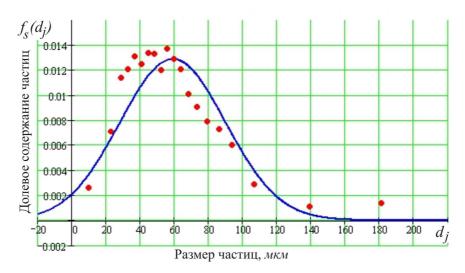


Рис. 4. Нормальный закон. Функция плотности распределения с параметрами $m_x = 59$ мкм; $\sigma_x = 31$ мкм.

Для получения эмпирической зависимости на основе нормального усечённого закона (3) применим метод выбранных точек. В качестве

пробных точек примем точки: 0,35(46) и 0,65(70). Составим из двух уравнений систему (12)

$$0.35 = 1 - \frac{1 - \operatorname{erf}\left(\frac{46 - m_x}{\sigma_x \sqrt{2}}\right)}{1 + \operatorname{erf}\left(\frac{m_x}{\sigma_x \sqrt{2}}\right)},$$

$$1 - \operatorname{erf}\left(\frac{70 - m_x}{\sigma_x \sqrt{2}}\right)$$

$$1 + \operatorname{erf}\left(\frac{m_x}{\sigma_x \sqrt{2}}\right)$$

$$1 + \operatorname{erf}\left(\frac{m_x}{\sigma_x \sqrt{2}}\right)$$

решением которой будет: $m_x = 58$ мкм; $\sigma_x = 30$ мкм, и подставляя эти параметры в формулы (3) и (4), получим эмпирические зависимости для исходного статистического материала, т.е.

$$Q_{U}(d) = 1 - \frac{1 - \operatorname{erf}\left(\frac{d - 58}{30\sqrt{2}}\right)}{1 + \operatorname{erf}\left(\frac{58}{30\sqrt{2}}\right)}.$$
(13)

$$f_U(d) = \frac{\sqrt{2}}{\sigma_x \sqrt{\pi}} \frac{\exp\left(\frac{d-58}{30\sqrt{2}}\right)^2}{1 + \operatorname{erf}\left(\frac{58}{30\sqrt{2}}\right)}.$$
 (14)

Функция (13) показана на рис. 5, функция (14) на рис. 6 совместно с экспериментальными точками.

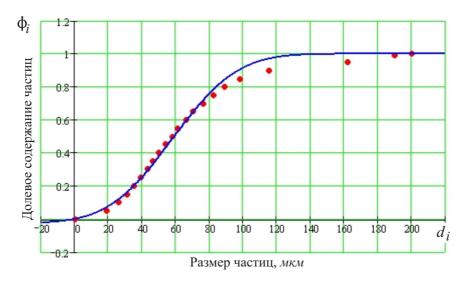


Рис. 5. Нормальный усечённый закон. Функция распределения с параметрами $m_x = 58$ мкм; $\sigma_x = 30$ мкм.

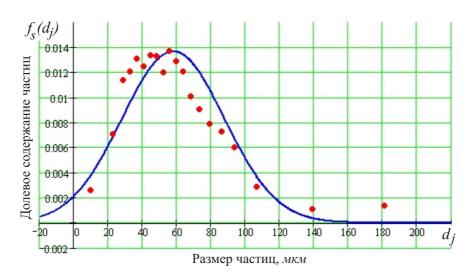


Рис.6. Нормальный усечённый закон. Функция плотности распределения с параметрами $m_x = 58 \text{ мкм}$; $\sigma_x = 30 \text{ мкм}$.

Для получения эмпирической зависимости на основе функции Гаммараспределения применялся метод выбранных точек. В качестве пробных точек были выбраны точки: 0,35(46) и 0,65(70). Подставляя в уравнение (5) выбранные точки составим систему двух уравнений

$$0.35 = \frac{\lambda^{k}}{\Gamma(k)} \int_{0}^{46} t^{k-1} \exp(-\lambda \cdot t) dt$$

$$0.65 = \frac{\lambda^{k}}{\Gamma(k)} \int_{0}^{70} t^{k-1} \exp(-\lambda \cdot t) dt$$
(15)

решением которой будет: k = 3.1; $\lambda = 0.048~\text{мкм}^{-1}$, и подставляя эти параметры в формулы (5) и (6), получим эмпирические зависимости для исходного статистического материала, а именно

$$Q_{\Gamma}(d) = \frac{(0.048)^{3.1}}{\Gamma(3.1)} \int_{0}^{d} t^{3.1-1} \exp(-0.048 \cdot t) dt.$$
 (16)

$$f_{\Gamma}(d) = \frac{(0.048)^{3.1}}{\Gamma(3.1)} d^{3.1-1} \exp(-0.048 \cdot d). \tag{17}$$

Функция (16) показана на рис. 5, функция (17) – на рис. 6 совместно с экспериментальными точками из табл. 2.

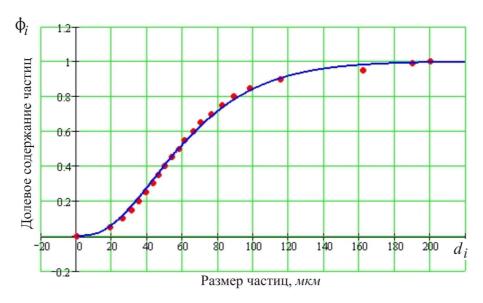


Рис. 5. Гамма-распределение. Функция распределения с параметрами $k = 3.1; \ \lambda = 0.048 \ \textit{мкм}^{-1}.$

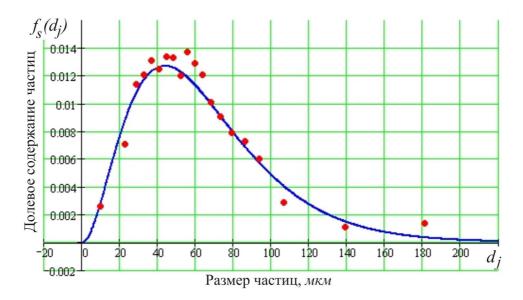


Рис.6. Гамма-распределение. Функция плотности распределения с параметрами k = 3.1; $\lambda = 0.048 \ \text{мкм}^{-1}$.

Для получения эмпирической зависимости на основе функции Вейбулла (7) применим метод выбранных точек. В качестве пробных точек примем так же точки: 0,35(46) и 0,65(70). Составим систему из двух уравнений для формулы (18)

$$0.35 = 1 - \exp(-\lambda \cdot 46^k)$$

$$0.65 = 1 - \exp(-\lambda \cdot 70^k)$$
(18)

решением которой будет: k = 2.12; $\lambda = 1.28 \cdot 10^{-4}$ мкм⁻¹, и подставляя эти параметры в формулы (7) и (8), получим эмпирические зависимости для исходного статистического материала:

$$Q_B(d) = 1 - \exp(-1.28 \cdot 10^{-4} \cdot d^{2.12}). \tag{19}$$

$$f_B(d) = 1.28 \cdot 10^{-4} \cdot d^{2.12} \frac{2.12}{d} \exp\left(-1.28 \cdot 10^{-4} \cdot d^{2.12}\right). \tag{20}$$

Функция (19) показана на рис. 9, а функция (20) – на рис. 10 совместно с экспериментальными точками.

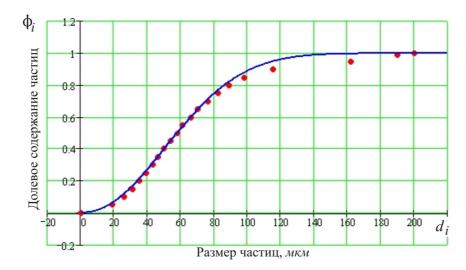


Рис. 9. Распределение Вейбулла. Функция распределения с параметрами $k=2.12;\;\lambda=1.28\cdot 10^{-4}\,\text{мкм}^{-1}.$

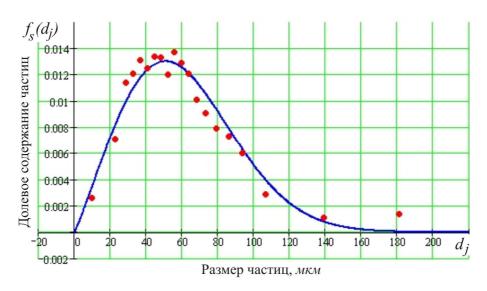


Рис. 10. Распределение Вейбулла. Функция плотности распределения с параметрами $k=2.12;~\lambda=1.28\cdot 10^{-4}~\text{мкм}^{-1}.$

Сходимость экспериментальных и теоретических значений проверялась с использованием критерия Пирсона χ^2 . Теоретическое значение χ^2_T при числе степеней свободы 17 и уроню значимости 0,1 получается $\chi^2_T = 24,7$. В табл. 3 показаны значения критерия Пирсона для всех рассмотренных функций. Наиболее эффективным оказалось гаммараспределение.

Таблица 3 Значения критерия Пирсона χ^2 для различных законов распределения.

	Название закона распределения	Формула	Значение χ^2
1.	- Нормальный	$Q_N(d) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \operatorname{erf}\left(\frac{d - m_x}{\sigma_x \sqrt{2}}\right)$	1,764
2.		$f_N(d) = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} \exp\left(\frac{d - m_x}{\sigma_x \sqrt{2}}\right)^2$	6,868
3.	Нормальный усечённый	$Q_{U}(d) = 1 - \frac{1 - \operatorname{erf}\left(\frac{d - m_{x}}{\sigma_{x}\sqrt{2}}\right)}{1 + \operatorname{erf}\left(\frac{m_{x}}{\sigma_{x}\sqrt{2}}\right)}$	0,639
4.		$f_U(d) = \frac{\sqrt{2}}{\sigma_x \sqrt{\pi}} \frac{\exp\left(\frac{d - m_x}{\sigma_x \sqrt{2}}\right)^2}{1 + \operatorname{erf}\left(\frac{m_x}{\sigma_x \sqrt{2}}\right)}$	12,398
5.	Гамма- распределение	$Q_{\Gamma}(d) = \frac{\lambda^{k}}{\Gamma(k)} \int_{0}^{d} t^{k-1} \exp(-\lambda \cdot t) dt$	0,257
6.		$f_{\Gamma}(d) = \frac{\lambda^{k}}{\Gamma(k)} d^{k-1} \exp(-\lambda \cdot d)$	0,097
7.	Распределение Вейбулла	$Q_B(d) = 1 - \exp(-\lambda \cdot d^k)$	0,356
8.		$f_B(d) = \lambda \cdot d^k \frac{k}{d} \exp(-\lambda \cdot d^k)$	1,030

Для функции (16) критерий Пирсона составит $\chi_{10}^2=0.257$, для функции (17) — $\chi_{11}^2=0.097$, что значительно меньше теоретического значения. Следовательно, предложенная модель описания распределения частиц по размеру в пробе не отвергается.

Выводы

Статистические данные по гранулометрическому составу пыли, полученные на лазерном анализаторе частиц пыли Fritsch NanoTec «ANALISETTE 22» с пакетом управляющих программ Fritsch Mas control мало информативны. Проведя статистическую обработку исходных данных и использую известные законы распределения: нормальный, нормальный усечённый, гамма-распределения, распределение Вейбулла, удалось получить эмпирическую зависимость плотности распределения количества частиц в зависимости от их размера. Формула (17) имеет наименьшую величину критерия Пирсона. Формула (17) достаточно точно представляет распределение частиц по размеру для данной категории пыли, технических условий, вида технологического оборудования.

Список литературы

- 1. Болдин, А.Н. Литейное производство с точки зрения экологии / А.Н. Болдин // Литейное производство. -2005. -№ 3. C. 33-34.
- 2. Головина Е.И. Опасные и вредные факторы литейного производства и их влияние на состояние атмосферы в рабочей зоне // Вестник технологического университета. -2016. -T.19, № 23-C. 126-131.
- 3. Головина Е.И., Иванова И.А., Ивков С.А. Оценка рентгенофазового анализа пыли от дробеструйных установок литейного производства // Интернет-журнал «Науковедение». 2017. Т.9, № 2. выпуск 2 (39).
- 4. Головина Е.И., Манохин В.Я., Иванова И.А. Оценка опасных факторов литейного производства // Комплексные проблемы техносферной безопасности материалы Международной научно-практической конференции. 2016. С. 170–173.
- 5. Иванова И.А. Определение коэффициента экологической опасности литейного производства // Вестник ДГТУ. 2010. T.10, N g 3 (46). C. 406–409.
- 6. Иванова И.А. Оценка дисперсного состава пыли участка черного литья / И.А. Иванова, В.Я. Манохин // Вестник ДГТУ. 2010. Т.10, №2 (45). С. 200–204.
- 7. Иванова И.А., Манохин В.Я., Головина Е.И. Оценка запыленности рабочей зоны дробеструйного участка и выбивных решеток литейного производства. Комплексные проблемы техносферной безопасности материалы XI Международной научно-практической конференции. г. Воронеж, 2015.
- 8. Королюк В.С. Справочник по теории вероятностей и математической статистике / В.С. Королюк, Н.И. Портенко, А.В. Скороход, А.Ф. Турбин. М.: Наука, $1985.-640~\rm c.$
- 9. Мурзинов В.Л. Модель идентификации процесса запылённости воздуха рабочей зоны в литейном производстве / В.Л. Мурзинов, В.Я. Манохин, И.А. Иванова // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный

- ресурс]. Краснодар: КубГАУ, 2011. №10(74). С. 233 244. Режим доступа: http://ej.kubagro.ru/2011/10/pdf/14.pdf, 0,75 у.п.л.
- 10. Манохин В.Я. Модели и методы систем управления экологической безопасностью литейного производства / В.Я. Манохин, В.Ф. Асминин, В.Л. Мурзинов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. Краснодар: КубГАУ, 2011. №10(74). С. 104 112. Режим доступа: http://ej.kubagro.ru/2011/10/pdf/11.pdf, 0,5 у.п.л.

References

- 1. Boldin, A.N. Litejnoe proizvodstvo s tochki zrenija jekologii / A.N. Boldin // Litejnoe proizvodstvo. 2005. № 3. S. 33-34.
- 2. Golovina E.I. Opasnye i vrednye faktory litejnogo proizvodstva i ih vlijanie na sostojanie atmosfery v rabochej zone // Vestnik tehnologicheskogo universiteta. − 2016. − T.19, № 23 − S. 126–131.
- 3. Golovina E.I., Ivanova I.A., Ivkov S.A. Ocenka rentgenofazovogo analiza pyli ot drobestrujnyh ustanovok litejnogo proizvodstva // Internet-zhurnal «Naukovedenie». 2017. T.9, № 2. vypusk 2 (39).
- 4. Golovina E.I., Manohin V.Ja., Ivanova I.A. Ocenka opasnyh faktorov litejnogo proizvodstva // Kompleksnye problemy tehnosfernoj bezopasnosti materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. 2016. S. 170–173.
- 5. Ivanova I.A. Opredelenie kojefficienta jekologicheskoj opasnosti litejnogo proizvodstva // Vestnik DGTU. 2010. T.10, N2 (46). S. 406–409.
- 6. Ivanova I.A. Ocenka dispersnogo sostava pyli uchastka chernogo lit'ja / I.A. Ivanova, V.Ja. Manohin // Vestnik DGTU. 2010. T.10, №2 (45). S. 200–204.
- 7. Ivanova I.A., Manohin V.Ja., Golovina E.I. Ocenka zapylennosti rabochej zony drobestrujnogo uchastka i vybivnyh reshetok litejnogo proizvodstva. Kompleksnye problemy tehnosfernoj bezopasnosti materialy XI Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. g. Voronezh, 2015.
- 8. Koroljuk V.S. Spravochnik po teorii verojatnostej i matematicheskoj statistike / V.S. Koroljuk, N.I. Portenko, A.V. Skorohod, A.F. Turbin. M.: Nauka, 1985. 640 s.
- 9. Murzinov V.L. Model' identifikacii processa zapyljonnosti vozduha rabochej zony v litejnom proizvodstve / V.L. Murzinov, V.Ja. Manohin, I.A. Ivanova // Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) [Jelektronnyj resurs]. − Krasnodar: KubGAU, 2011. − №10(74). S. 233 − 244. − Rezhim dostupa: http://ej.kubagro.ru/2011/10/pdf/14.pdf, 0,75 u.p.l.
- 10. Manohin V.Ja. Modeli i metody sistem upravlenija jekologicheskoj bezopasnost'ju litejnogo proizvodstva / V.Ja. Manohin, V.F. Asminin, V.L. Murzinov // Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) [Jelektronnyj resurs]. − Krasnodar: KubGAU, 2011. − №10(74). S. 104 − 112. − Rezhim dostupa: http://ej.kubagro.ru/2011/10/pdf/11.pdf, 0,5 u.p.l.