

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»  
Кафедра «инженерная школа новой индустрии (департамент)



## **Выпускная квалификационная работа**

Адаптация математической модели последовательного каскада

для многорядного классификатора

**НАПРАВЛЕНИЕ 08.04.01 СТРОИТЕЛЬСТВО**

Студент гр. НМТМ-270801 Некрашевич С.В.

Научный руководитель

канд. техн. наук, доц.

Пономарев В.Б.

Екатеринбург 2019

# Актуальность работы

Степень  
разделени  
я



*Расходные нормы сырья*  
*Выход и качество*  
*получаемой продукции*



Технико-экономические  
показатели  
производства

СОЗДАНИЕ  
ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО И  
ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОГО  
СЕПАРИРУЮЩЕГО  
ОБОРУДОВАНИЯ

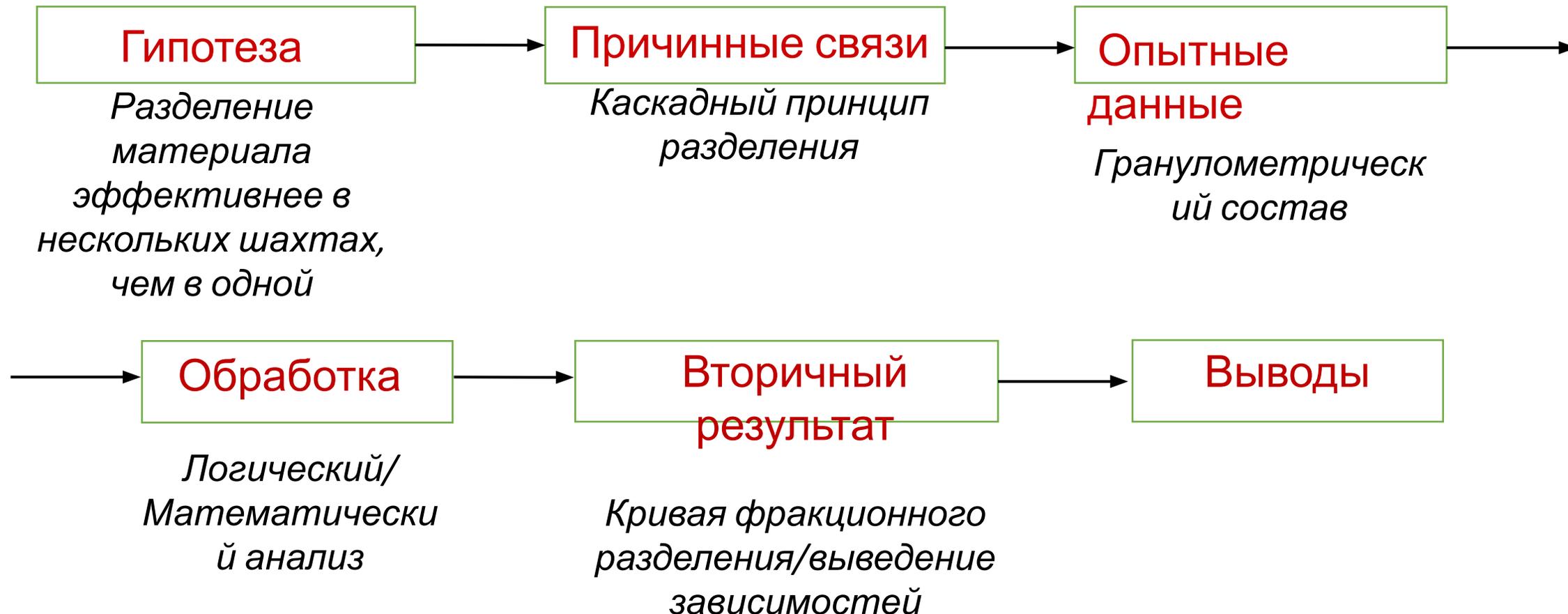
# Цели и задачи научного исследования

**Цель работы** – адаптация математической последовательного каскада для многорядного классификатора. Для достижения поставленной цели, решались следующие **задачи**:

- модернизация лабораторной установки по классификации сыпучего материала;
- экспериментальные исследования влияния количества последовательных шахт (каскадов) на эффективность и границу разделения;
- экспериментальные исследования влияния расходной концентрации материала на эффективность и границу разделения;
- разработка математического описания процесса пневмокласификации.

# Изучение влияния технологических параметров на эффективность классификации материалов

## Эксперимент в рамках научного исследования



# Классификация сыпучих материалов

**Фракционирование** или **классификация** сыпучих материалов - процесс разделения, базирующийся на разнице физических свойств «размер – масса» и аэродинамических характеристик отдельных частиц. Разделительная среда - воздух или горячие дымовые газы.

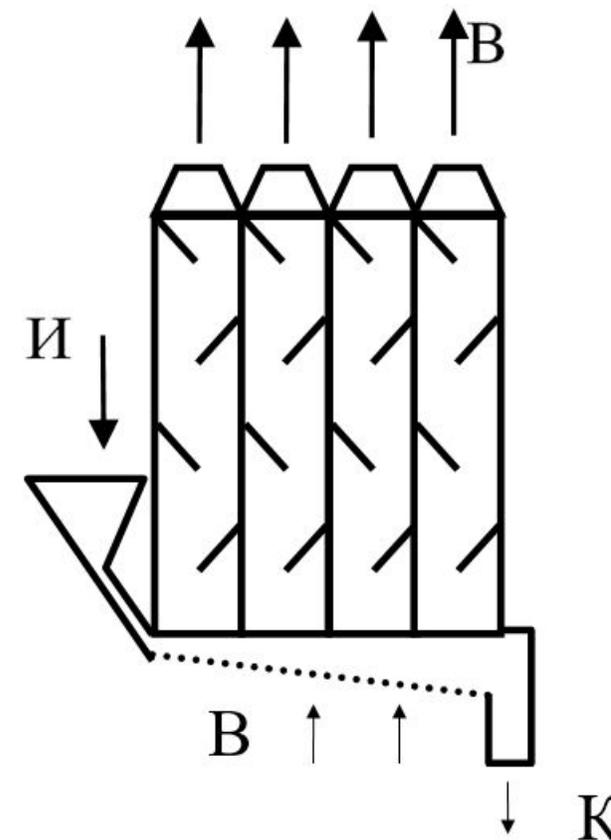


## Купершлак:

- размер частицы в пределах 0,2–2,4 мм;
- удельная плотность 3,3–3,9 кг/дм<sup>3</sup>;
- насыпная плотность 1,5 г/см<sup>3</sup>,
- влажность не более 0,2 %.

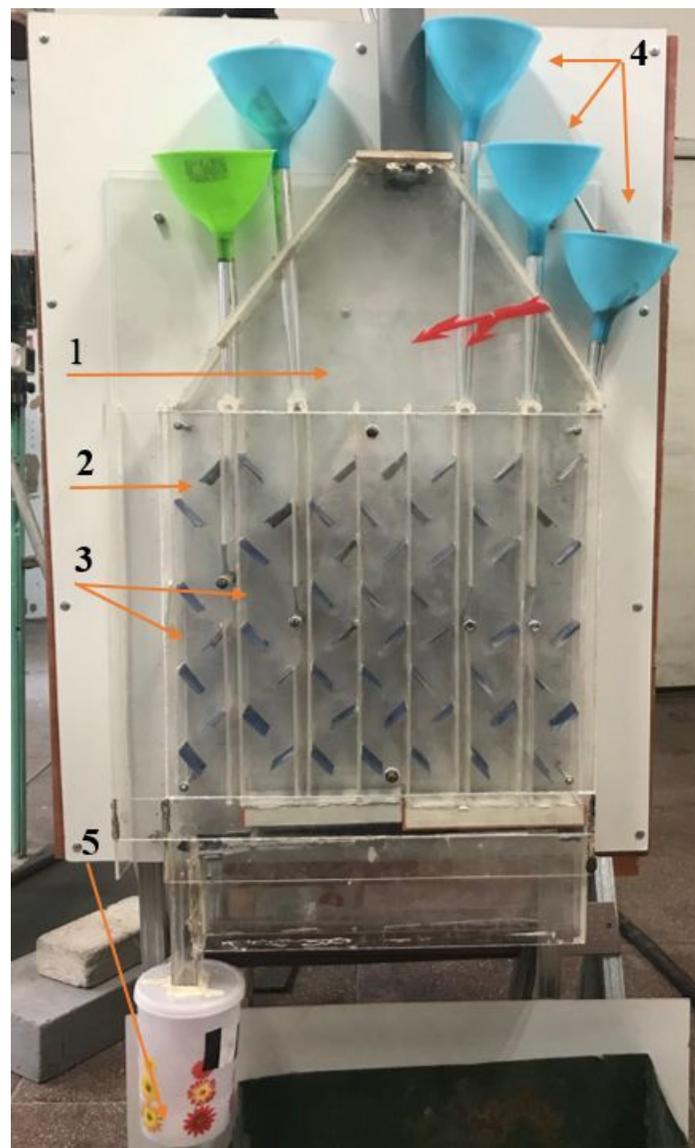
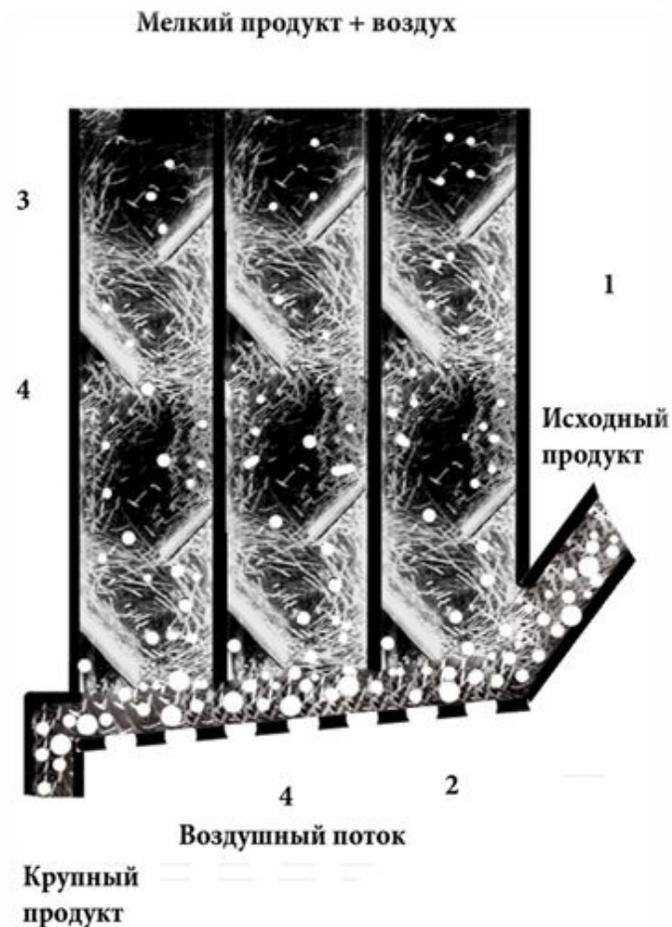
# Каскадный принцип классификации

- Гравитационная классификация позволяет разделять порошки с размером частиц от *50 до 5000 мкм*.
- Характеризуется относительно *небольшими габаритами по высоте*.
- Отличается *высокой производительностью* по исходному питанию.
- Разделение осуществляется как на газораспределительной решетке, так и в каждой шахте.



Многорядный гравитационный пневматический классификатор

# Многорядные классификаторы



Многорядный классификатор,  
собранный на кафедре ОАСП:

1 – корпус;  
2 – шахта  
классификатора;

3 – пересыпные полки;

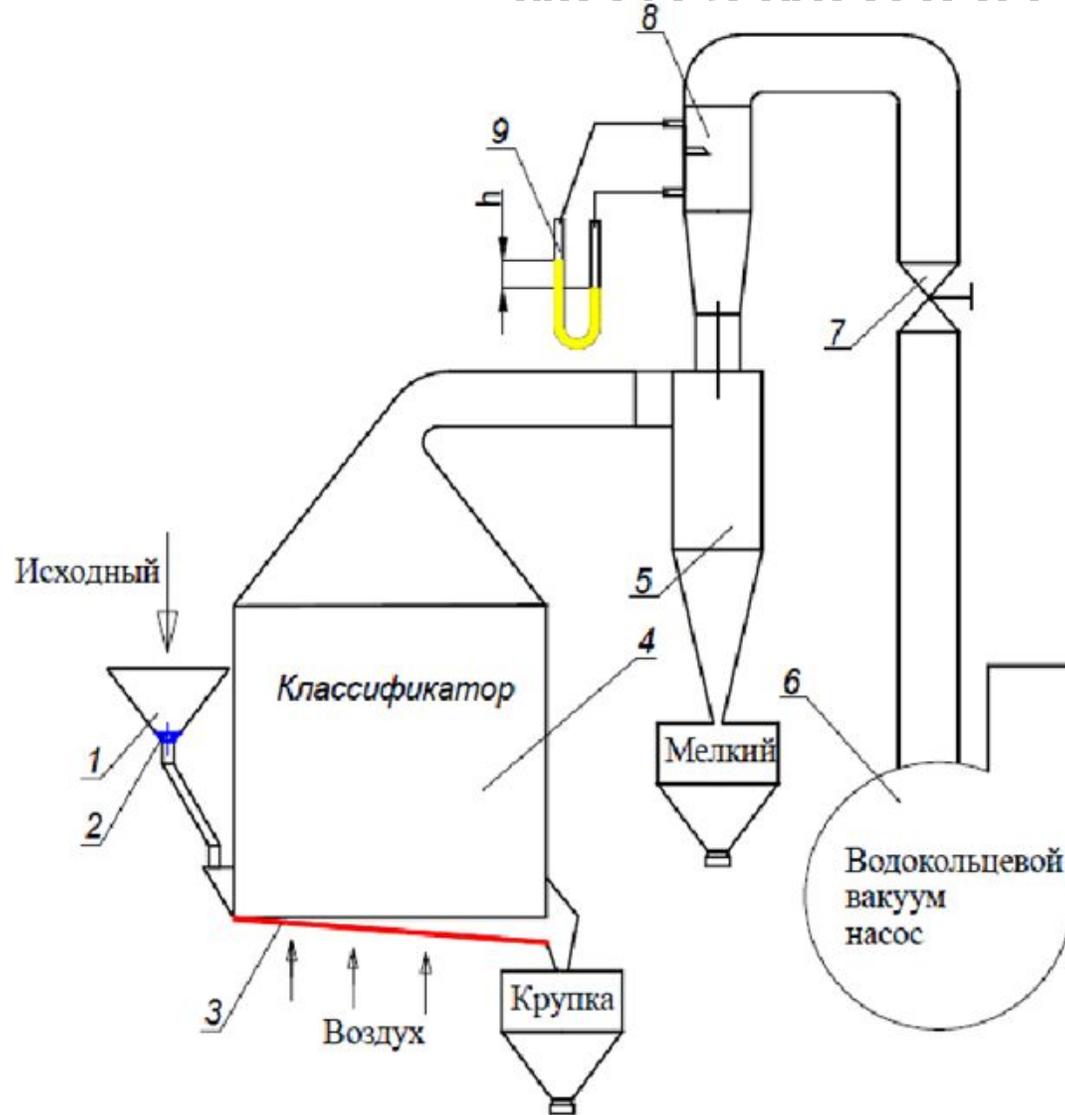
4 – загрузочные воронки;

5 – бункер крупного продукта

Принцип работы многорядного  
классификатора: 1 – пересыпные  
элементы; 2 – перфорированная  
решетка;

3 – мелкие частицы; 4 – крупные частицы

# Установка фракционирования сыпучих материалов



- Схема установки фракционирования:
- 1 – питатель; 2 – расходная шайба; 3 – перфорированная решетка;
  - 4 – классификатор; 5 – циклон;
  - 6 – вакуум насос; 7 – шибер;
  - 8 – расходомерная диафрагма;
  - 9 – U-образный манометр

# Результаты опытов по разделению купершлака:

№ оп.	m	№ вор-ки	Q, кг/ч	$V_{возд}$ , м3/ч	$\mu$ , кг/м <sup>3</sup>	S, м2	W, м/с	$X_{cp.kp}$ МКМ	$X_{cp.m}$ МКМ	$X_{cp.lcx}$ МКМ	$X_{50}$ МКМ	$k_{75/25}$	p
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	1	1	34,43	59,16	0,582	0,0025	6,57	230,34	72,75	216,01	26,99	25,30	1,6
2			31,37	70,71	0,444		7,86	294,19	68,79	259,1	70,88	50,70	3,24
3			35,56	86,60	0,411		9,62	199,54	84,42	173,77	63,44	37,81	2,26
4			35,56	86,60	0,411		9,62	303,06	87,56	254,83	108,44	66,26	5,34
5		2	88,90	59,16	1,50		6,57	206,90	68,88	201,00	12,81	24,18	1,55
6	2	1	38,96	59,16	0,66	0,0050	3,29	260,59	77,86	230,38	60,54	36,85	2,20
7			40,41	70,71	0,57		3,93	284,87	87,11	236,20	95,90	38,86	2,32
8			45,72	86,60	0,53		4,81	304,99	96,18	240,86	113,13	56,05	3,79
9		2	91,34	59,16	1,54		3,29	228,57	73,16	212,30	23,78	16,96	1,24
10			101,81	70,71	1,44		3,93	228,15	82,21	211,70	27,31	20,60	1,39
11			134,10	86,60	1,55		4,81	233,85	87,45	210,10	34,89	19,34	1,34
12			3	356,40	59,16		6,02	3,29	222,88	71,30	215,06	12,24	17,69
13		356,80		70,71	5,05		3,93	221,31	80,09	212,60	13,79	18,37	1,30
14		358,00		86,60	4,13		4,81	226,78	85,32	213,19	24,15	23,00	1,50
15		5	1	38,03	89,44		0,43	0,0125	1,99	247,43	65,91	221,96	51,91
16	37,69			97,47	0,39	2,17	231,63		75,22	194,90	68,77	29,13	1,78
17	40,00			122,47	0,33	2,72	253,37		86,55	199,43	111,49	34,40	2,06
18	2		97,09	89,44	1,09	1,99	252,57		68,03	233,70	38,78	31,38	1,90
19			152,06	100,00	1,52	2,22	251,10		67,43	228,95	43,15	36,76	2,20
20			160,74	122,47	1,31	2,72	226,57		83,54	191,49	50,00	19,49	1,34
21			3	395,04	89,44	4,42	1,99		259,00	71,58	248,61	25,51	27,92
22	270,60			100,00	2,71	2,22	235,96		68,75	216,13	37,32	29,19	1,78
23	293,63			122,47	2,40	2,72	235,33		78,51	216,14	27,83	18,31	1,29
24	6		1	41,12	100,00	0,41	0,0150		1,85	257,56	65,63	231,49	54,50
25		44,17		109,54	0,40	2,03		243,29	74,45	204,43	64,87	31,31	1,89
26		48,14		134,16	0,36	2,48		242,59	88,82	188,53	108,43	33,04	1,98
27		2		74,37	100,00	0,74		1,85	201,05	76,91	179,47	42,59	33,33

Результаты математической обработки процесса классификации:

- m – количество шахт классификатора;
- $\mu$  – расходная концентрация материала, кг/м<sup>3</sup>;
- W – скорость воздушного потока на полное поперечное сечение классификатора, м/с;
- $X_i$  – класс крупности; мкм
- $X_{50}$  – граница разделения, мкм;
- $K_{75/25}$  - острота сепарации по Эдеру–Майеру, %;
- p – показатель функции Плитта (мера остроты сепарации)

# Результаты экспериментов на одной шахте классификато



ГРАФИК ЗАВИСИМОСТИ ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛЕНИЯ ОТ СКОРОСТИ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА

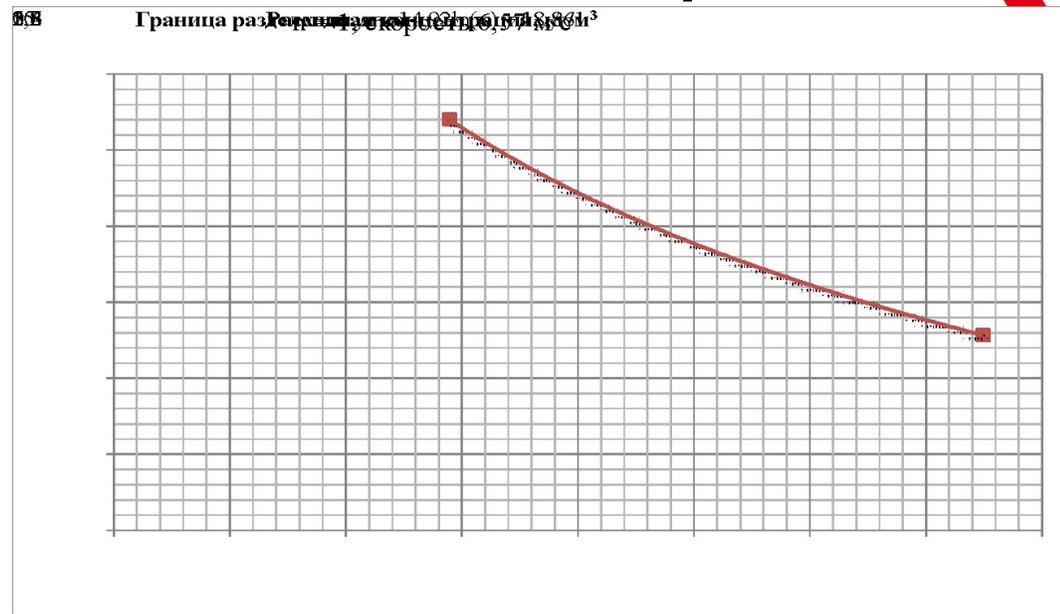


ГРАФИК ЗАВИСИМОСТИ ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛЕНИЯ ОТ РАСХОДНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ МАТЕРИАЛА

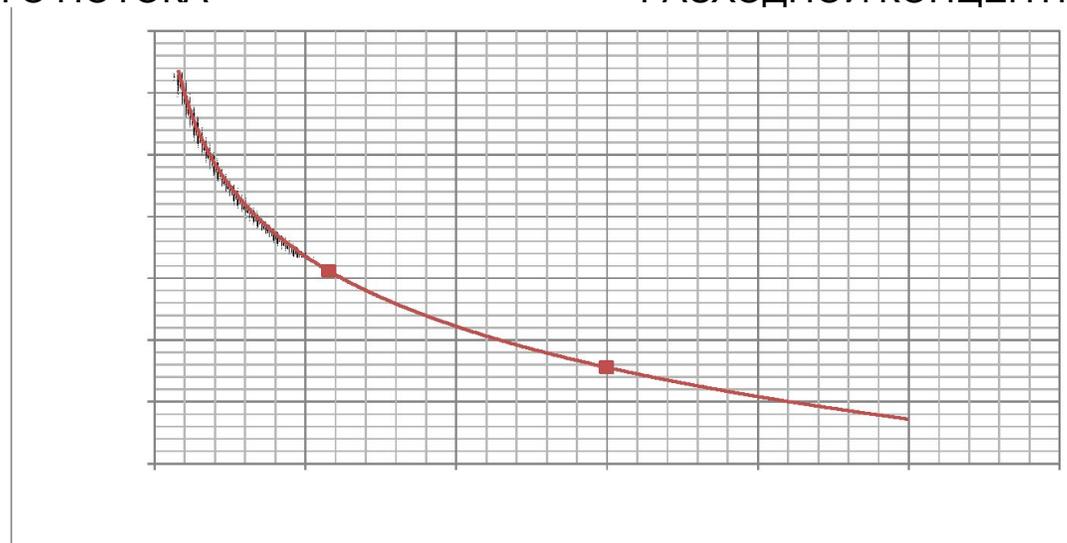


ГРАФИК ЗАВИСИМОСТИ ПАРАМЕТРА ФУНКЦИИ ПЛИТТА ОТ РАСХОДНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ МАТЕРИАЛА

# Результаты экспериментов на пяти шахтах классификато

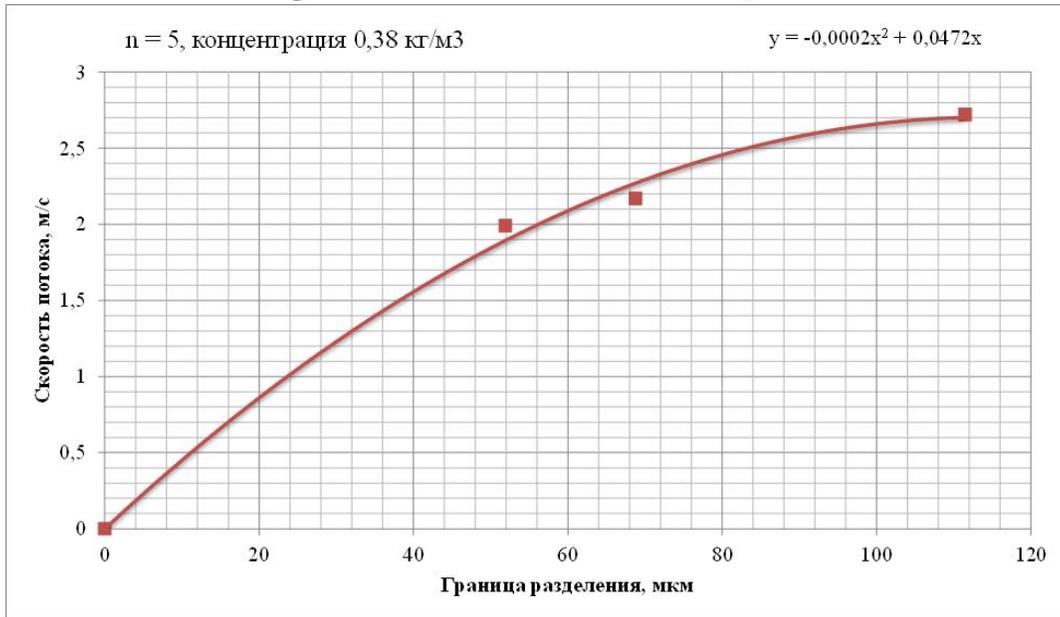


ГРАФИК ЗАВИСИМОСТИ ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛЕНИЯ ОТ СКОРОСТИ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА ПРИ КОНЦЕНТРАЦИИ 0,38 КГ/М<sup>3</sup>

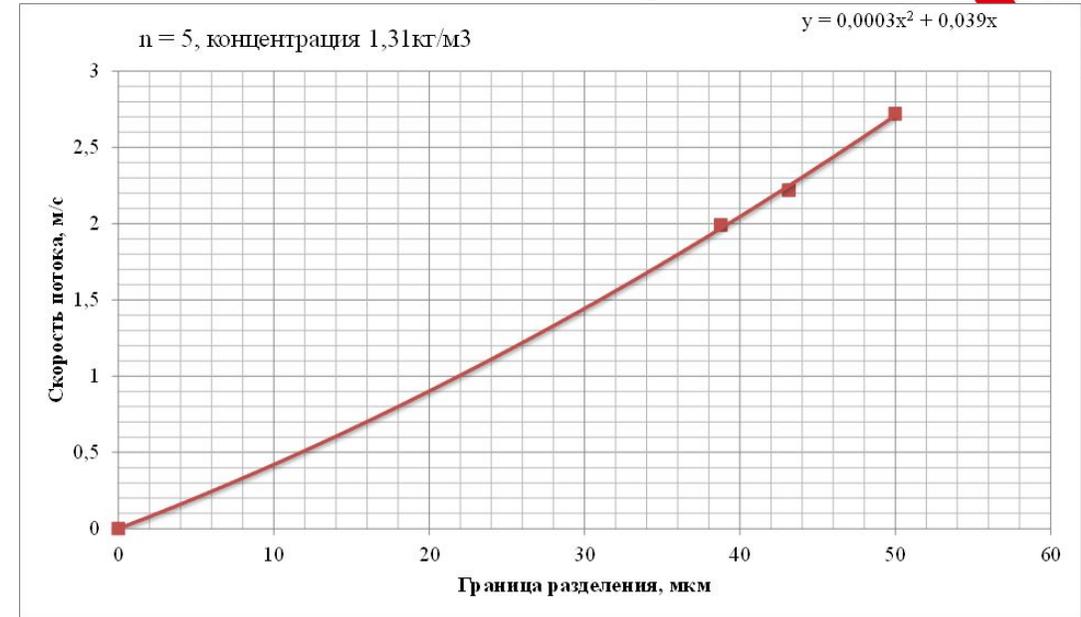


ГРАФИК ЗАВИСИМОСТИ ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛЕНИЯ ОТ СКОРОСТИ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА ПРИ КОНЦЕНТРАЦИИ 1,31 КГ/М<sup>3</sup>

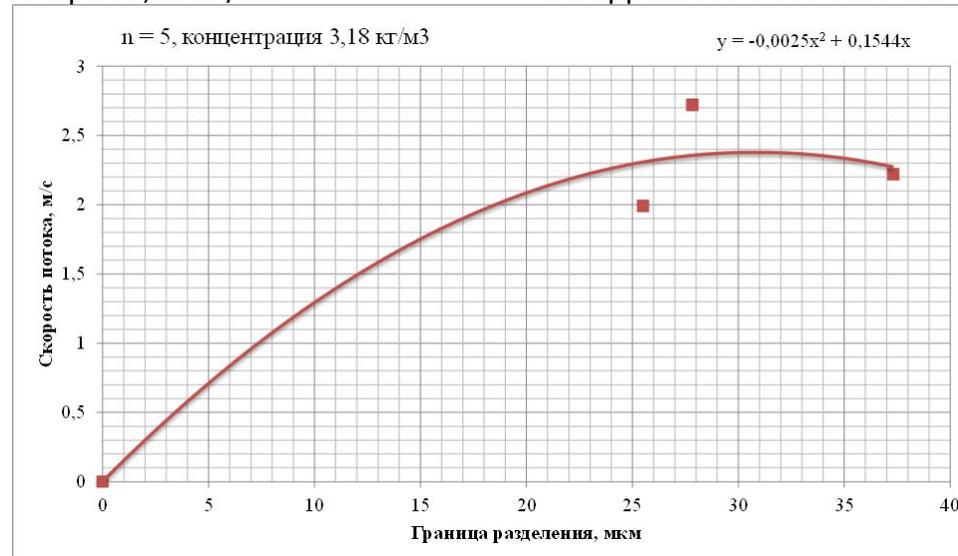


ГРАФИК ЗАВИСИМОСТИ ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛЕНИЯ ОТ СКОРОСТИ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА ПРИ КОНЦЕНТРАЦИИ 3,18 КГ/М<sup>3</sup>

# Результаты экспериментов на пяти шахтах классификато

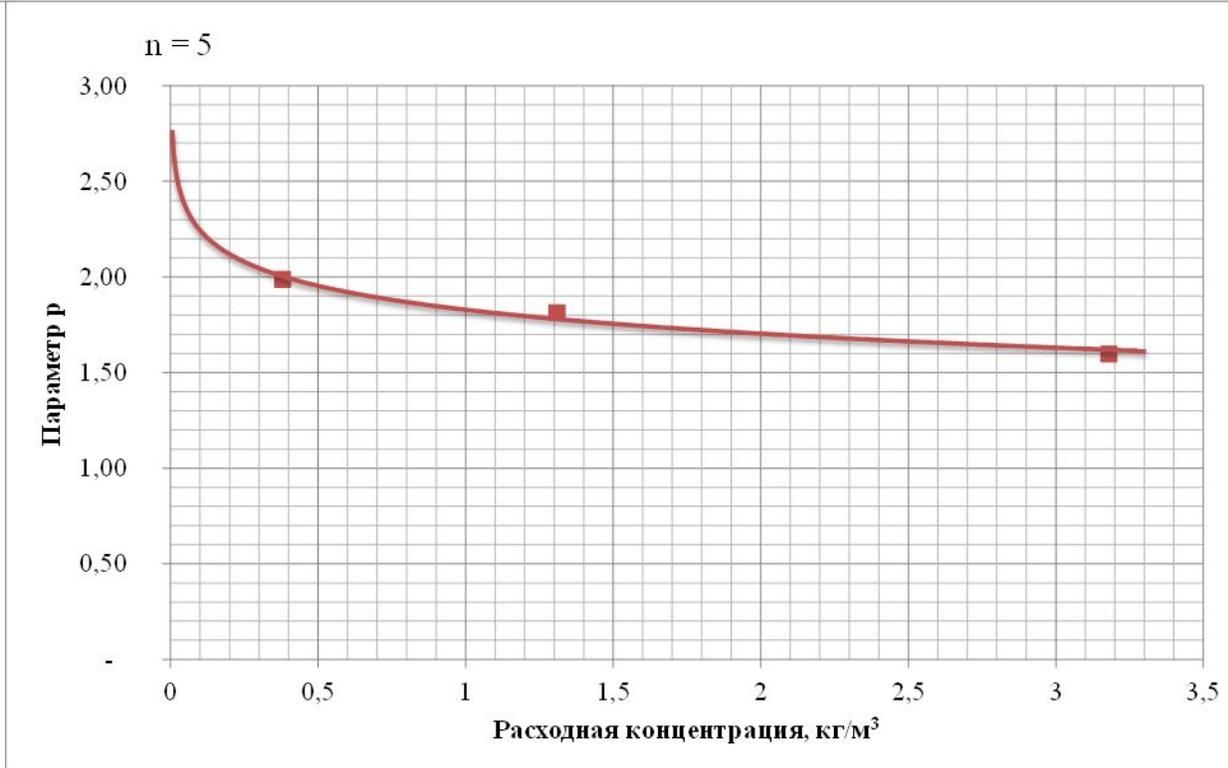
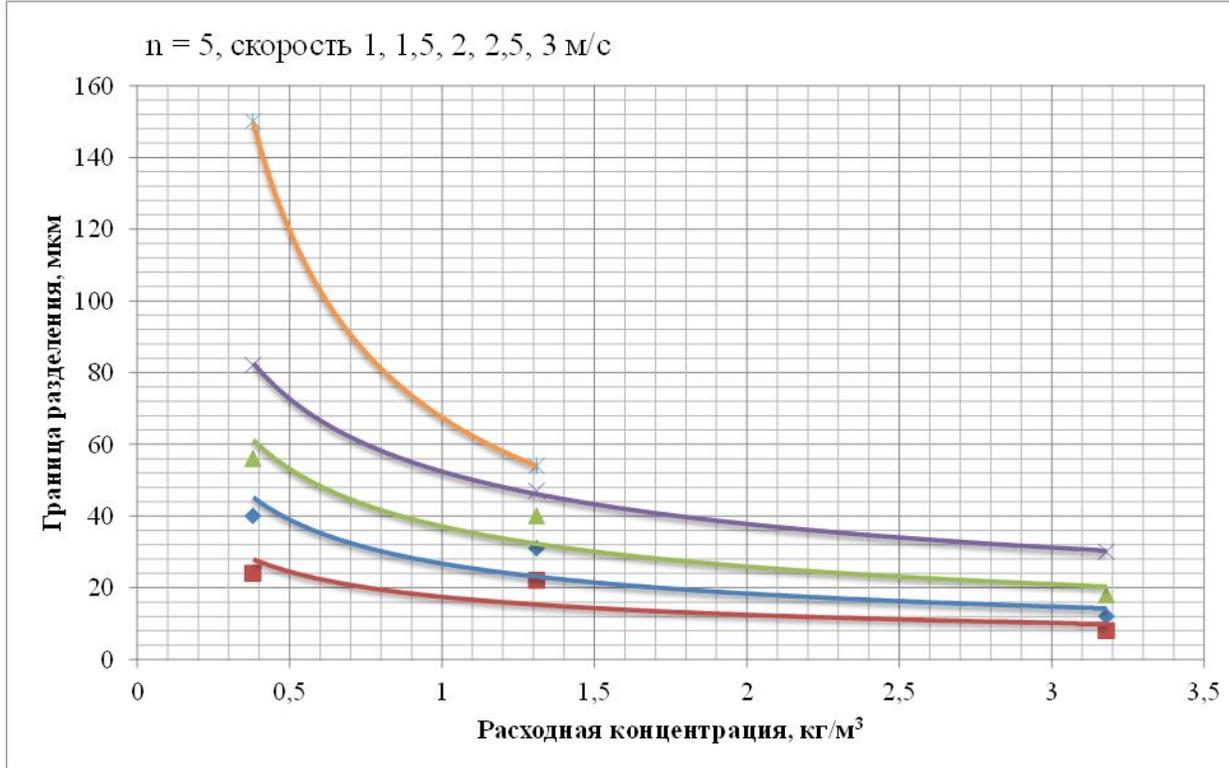


ГРАФИК ЗАВИСИМОСТИ ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛЕНИЯ ОТ РАСХОДНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ МАТЕРИАЛА ПРИ СКОРОСТЯХ 1, 2, 3, 4, 5 М/С ЧЕРЕЗ 5 ШАХТ

ГРАФИК ЗАВИСИМОСТИ ПАРАМЕТРА ФУНКЦИИ ПЛИТТА ОТ РАСХОДНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ МАТЕРИАЛА

# Математическая модель распределения твердых частиц по шахтам пневмоклассификатора

Выражение для вычисления остроты сепарации через  $n$  количества перечисток по критерию Эдера–Майер:

$$k_{75/25} = \left( \frac{0,75^{\frac{1}{n}} \left( 1 - 0,25^{\frac{1}{n}} \right)}{0,25^{\frac{1}{n}} \left( 1 - 0,75^{\frac{1}{n}} \right)} \right)^{\frac{1}{p}}$$

Показатель эффективности для суммарной перечист  $p_{\Sigma} = p \frac{\ln \frac{1}{9}}{\ln \left( 0,75^{\frac{1}{n}} \left( 1 - 0,25^{\frac{1}{n}} \right) \right) - \ln \left( 0,25^{\frac{1}{n}} \left( 1 - 0,75^{\frac{1}{n}} \right) \right)}$ .

Для произвольного числа перечисток  $n$  при одинаковой настройке аппаратов общая граница разделения:

$$x_{50_{\Sigma}} = x_{50} \left( \left( 1 - 0,5^{\frac{1}{n}} \right) / 0,5^{\frac{1}{n}} \right)^{\frac{1}{p}} .$$

# Апробация математической модели

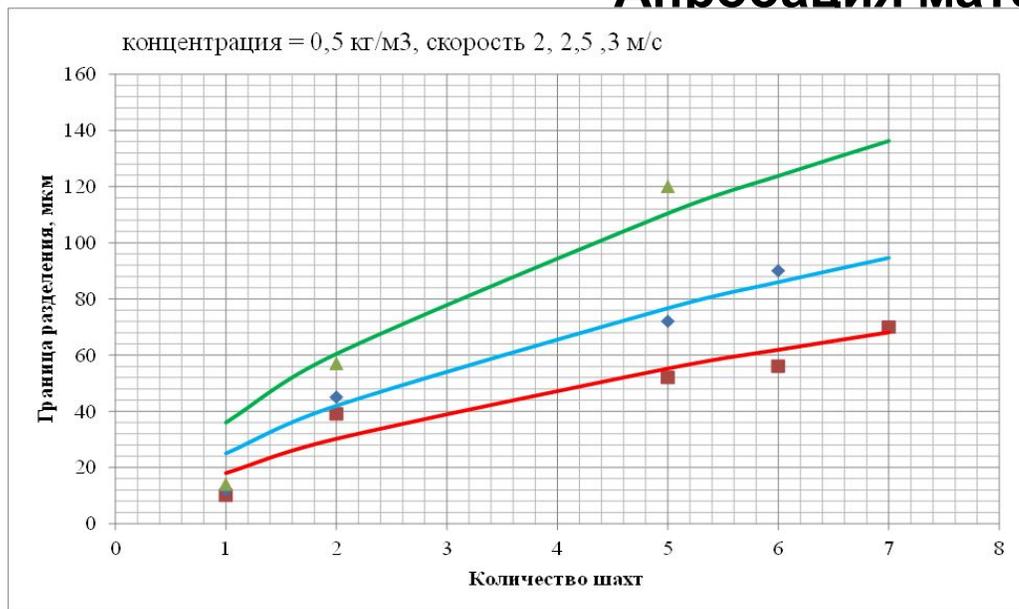


График зависимости границ раздела от количества шахт при концентрации 0,5 кг/м<sup>3</sup> для максимальных скоростей воздушного

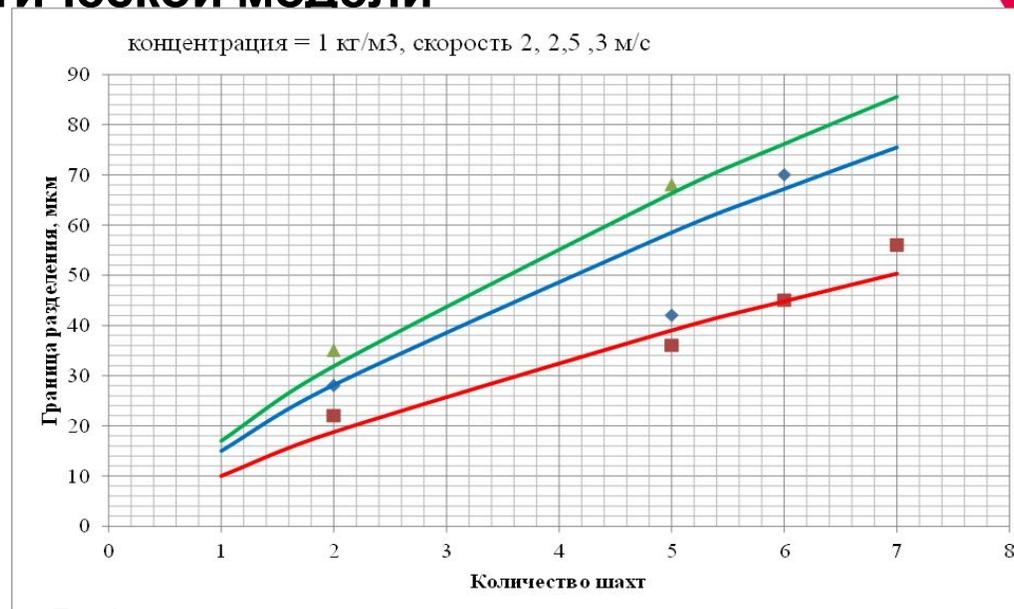


График зависимости границ раздела от количества шахт при концентрации 1 кг/м<sup>3</sup> для максимальных скоростей воздушного потока

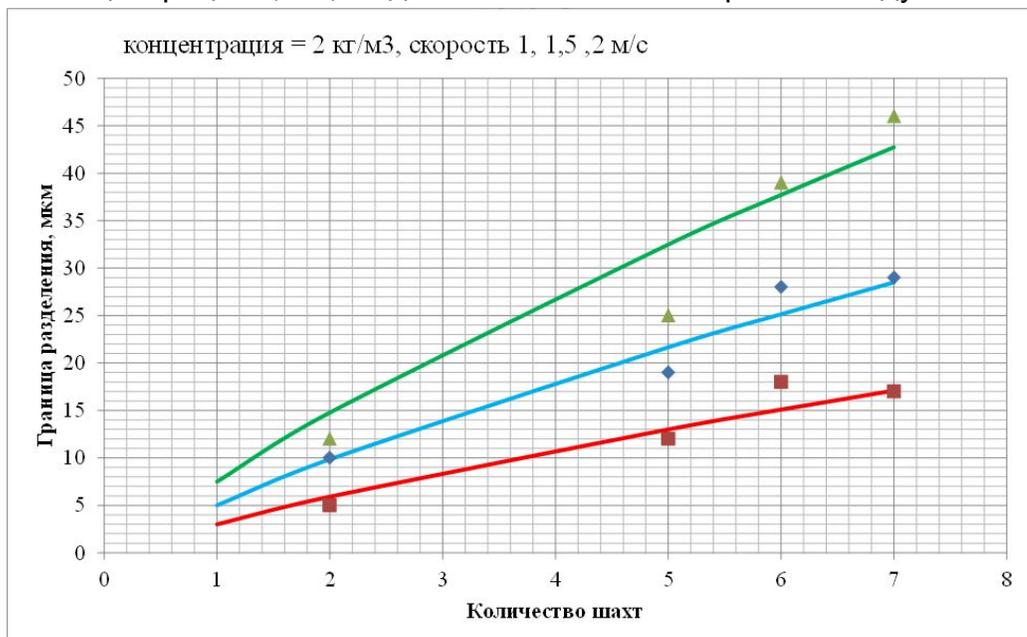


График зависимости границ раздела от количества шахт при концентрации 2 кг/м<sup>3</sup> для минимальных скоростей воздушного потока

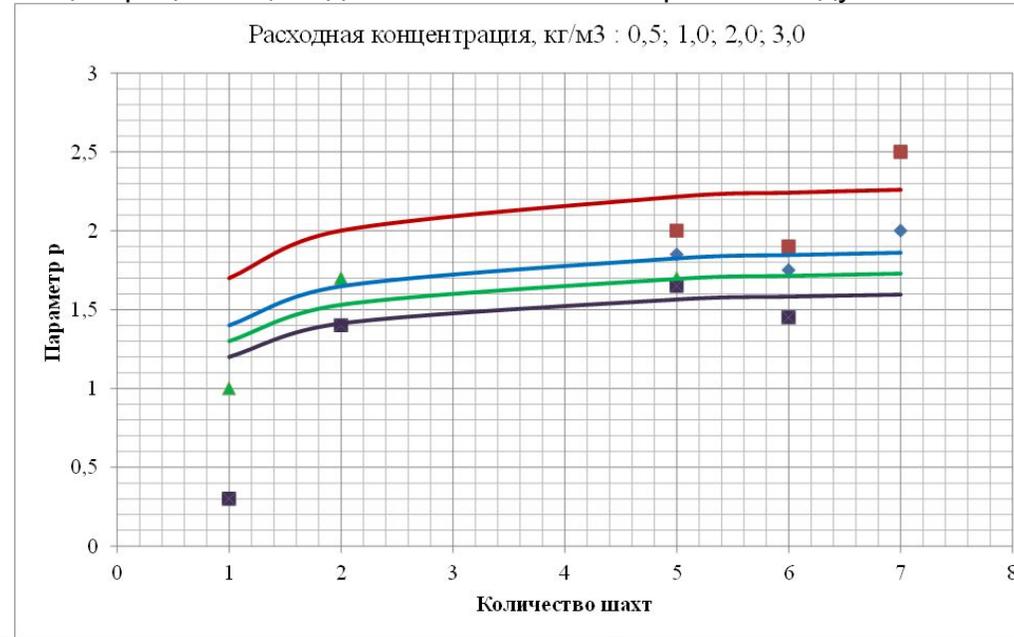


График зависимости параметра функции Плитта от количества шахт для разделения материала

# Изучение влияния насыпного веса на дисперсность материала

Дисперсность – степень измельченности материала, характеризующаяся отношением  $\frac{1}{x_{исх} 10^{-6}}$ .

Формула для определения насыпного веса:

$$\rho_n \text{ кг/л} = \frac{m_2 - m_1}{V} \quad \text{м}^3$$

где  $m_1$  – масса сосуда, кг;  $m_2$  – масса сосуда с купершлаком, кг;  $V$  – объем сосуда  $\text{м}^3$ .



УСТРОЙСТВО С ПЕРЕСЫПНЫМИ  
ПОЛКАМИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ  
НАСЫПНОГО ВЕСА

# Аппроксимация опытных данных

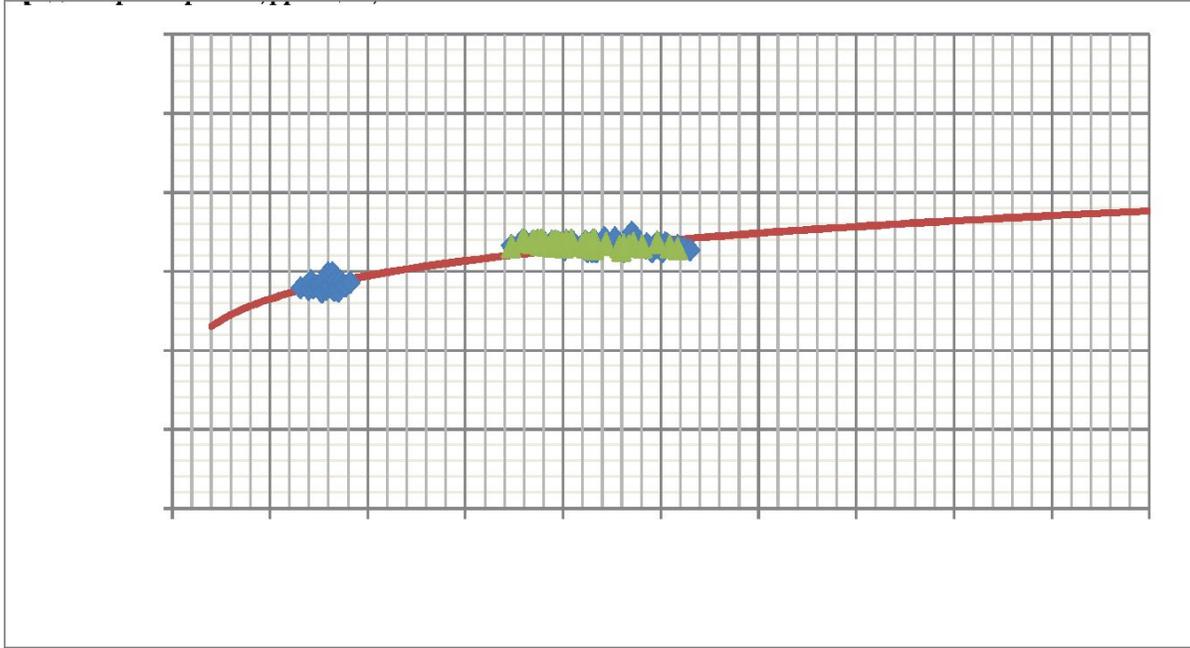


ГРАФИК ЗАВИСИМОСТИ СРЕДНЕГО РАЗМЕРА  
ПОЛИФРАКЦИИ ОТ НАСЫПНОЙ ПЛОТНОСТИ

$$y = 0,2575 \ln x + 0,2929$$

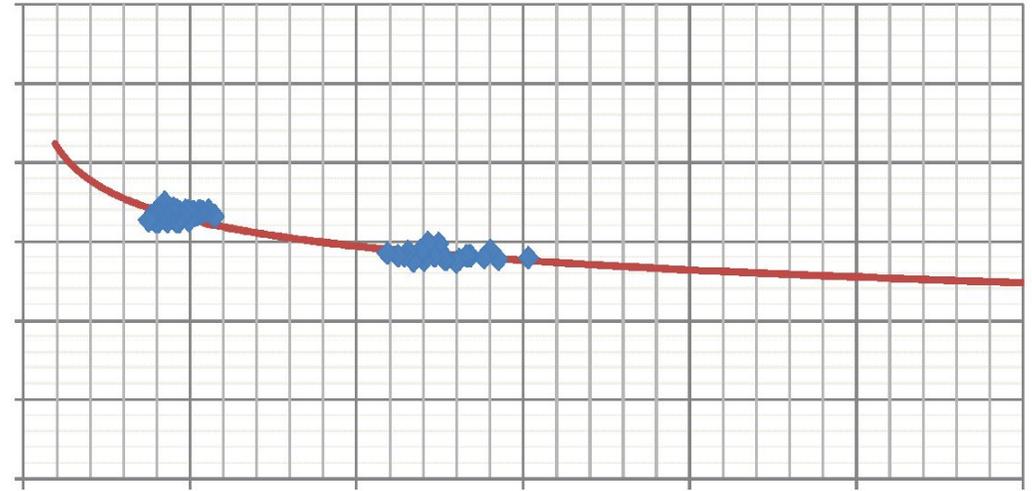


ГРАФИК ЗАВИСИМОСТИ ДИСПЕРСНОСТИ КУПЕРШЛАКА  
ОТ НАСЫПНОЙ ПЛОТНОСТИ

$$y = 0,263 \ln x + 3,8968$$

# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленная в начале исследования гипотеза о большей эффективности процесса разделения сыпучего материала в нескольких шахтах классификатора, чем в одной, была подтверждена.

Проведена адаптация математической модели последовательного каскада для многорядного классификатора, получено удовлетворительное соответствие экспериментальных и расчетных данных.

При обработке экспериментальных данных получена зависимость влияния насыпного веса на дисперсность сыпучего материала, которую можно положить в основу разработки экспресс метода и аппарата измерения дисперсности.



Институт новых материалов  
и технологий

**Благодарю за внимание!**