

С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университетінің  
ҒЫЛЫМ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ  
Павлодарского государственного университета имени С. Торайгырова

---

## ПМУ ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы  
1997 жылдан бастап шығады



## ВЕСТНИК ПГУ

Энергетическая серия  
Издается с 1997 года

**3 2014**

---

---

---

Научный журнал Павлодарского государственного университета  
имени С. Торайгырова

**СВИДЕТЕЛЬСТВО**

о постановке на учет средства массовой информации

№ 14310-Ж

выдано Министерством культуры, информации и общественного согласия

Республики Казахстан

17 апреля 2014 года

Кислов А.П., к.т.н., доцент (главный редактор);  
Лыцкова Ю.А., к.т.н., доцент (заместитель главного редактора);  
Акаев А.М., (ответственный секретарь);

**Редакционная коллегия:**

Алиферов А.И., д.т.н., профессор, зав.каф.НГТУ (г. Новосибирск, Россия);  
Бороников Ю.С., к.т.н., профессор, Национальный исследовательский  
ТПУ, проректор-директор Энергетического института (г. Томск, Россия);  
Новожилов А.Н., д.т.н., профессор;  
Горюнов В.Н., д.т.н., профессор, ОмГТУ, директор Энергетического  
института (г. Омск, Россия);  
Говоруни В.Ф., д.т.н., профессор;  
Захиров И.В., д.т.н., профессор;  
Клецель М.Я., д.т.н., профессор;  
Никофоров А.С., д.т.н., профессор;  
Тастенов А.Д., к.т.н., доцент;  
Хачевский В.Ф., д.т.н., профессор;  
Нурсолиева Б. В. (тех. редактор).

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели.  
Мнение авторов публикаций не всегда совпадает с мнением редакции.  
Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов.  
Рукописи и дискиеты не возвращаются.  
При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник ПГУ» обязательна.

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Азаматова Д. А., Тулебаева Ж. А.</b> Эффективное использование насосного оборудования систем гидроочистки .....	12
<b>Аринов Е., Сартаев К. З., Байжуманов М. К., Карипбаев С. Ж.</b> Механизм демпфирования нутационных колебаний ротора электростатического гироскопа .....	16
<b>Аринов Е., Сартаев К. З., Байжуманов М. К., Карипбаев С. Ж.</b> Движение упругого ротора электростатического гироскопа с переменным моментом инерции в неконтактном подвесе .....	25
<b>Ахметбаев Д. С., Ахметбаев А. Д.</b> Системные функции сопротивления двухполюсников .....	33
<b>Бек Е. В.</b> Влияние сланцевой революции в США на европейский газовый рынок .....	43
<b>Бек Е. В.</b> Пересмотр долгосрочных контрактов (ДСК) ООО «Газпром экспорт» на европейском газовом рынке .....	46
<b>Бороденко В. А.</b> Об оценке устойчивости систем управления в MATLAB .....	51
<b>Бороденко В. А.</b> Аналитическое представление переходного процесса в MATLAB .....	62
<b>Гоненко Т. В., Хацевский В. Ф., Гоненко К. В.</b> Выбор оборудования для установок автоматического пожаротушения .....	69
<b>Глок К. С.</b> Автоматизация мазутного комплекса .....	75
<b>Джаманбаев М. А., Токенов Н. П.</b> Исследование статистических материалов по пляске проводов в условиях Казахстана .....	81
<b>Исенова А. Ж.</b> Модернизация системы вентиляции производственного помещения .....	86
<b>Комлева Е. В.</b> Антропосоциальные аспекты проблемы ядерных отходов .....	90
<b>Калиев Б. З., Садуакасова Г. М., Габдулов А. У.</b> О некоторых характеристиках энергетических преобразователей .....	121
<b>Кайдар А. Б., Шалкенов Б. К., Марковский В. П.</b> Оценка средних и действующих значений тока, мощности статических потерь на этапах коммутации инвертора с широтно-импульсной модуляцией для систем электроснабжения с возобновляемыми источниками энергии .....	129
<b>Кайдар А. Б., Кольрин В. С., Шалкенов Б. К., Марковский В. П.</b> Экспериментальные исследования инвертора с широтно-импульсной модуляцией для систем электроснабжения с возобновляемыми источниками энергии .....	137

<b>Кайдар А. Б., Говорун В. Ф., Шапкенов Б. К.</b>	
Проблема и перспективы применения линий и вставок постоянного тока .....	144
<b>Кайдар А. Б., Кислов А. П., Марковский В. П., Шапкенов Б. К., Акаев А. М.</b>	
Оптимизация параметров систем электроснабжения с применением системного регулирования энергопотребления .....	153
<b>Кайдар А. Б., Шапкенов Б. К., Падруль Н. М.</b>	
Повышение эффективности преобразования энергии ветра .....	158
<b>Кислов А. П., Марковский В. П., Деревягин С. И., Изонин С. И., Кривко Л. И.</b>	
Влияние магнитопровода и загрузки на индуктор в цилиндрической системе нагрева .....	165
<b>Лолатина Л. Г., Никитин К. И.</b>	
Алгоритм направленной токовой защиты без цепей напряжения .....	174
<b>Лукутин Б., Сарсикеев Е., Кислов А., Мустафина Р.</b>	
Формирование факторов и критериев энергоэффективности на примере автономных систем энергоснабжения .....	181
<b>Лукутин Б. В., Сурков М. А., Сарсикеев Е. Ж., Мустафина Р. М., Мустафина Д. Б.</b>	
Математическая модель автономной ветродизельной электростанции с переменной частотой вращения .....	189
<b>Мендыбаев С. А., Байкенова Н. Б., Кривко Л. И., Любецкая М. А.</b>	
Разработка математической модели воздухонагревательной установки .....	195
<b>Мендыбаев С. А., Байкенова Н. Б., Кривко Л. И.</b>	
Разработка математической модели системы регулирования давления воздуха в калориферной установке .....	200
<b>Муханова Б. Г.</b>	
Структура и типизация данных для базы георадиолокаций .....	205
<b>Никифоров А. С., Приходько Е. В.</b>	
Современные тенденции в развитии и использовании брикетного топлива .....	216
<b>Нагорнюк А. А., Писарчук А. А.</b>	
Автоматизированное определение параметров цифровых радиосигналов с закруглёнными формами фазовых созвездий .....	220
<b>Новожилов А. Н., Акаев А. М., Новожилов Т. А., Волгина Е. М.</b>	
Простая математическая модель для определения токов в обмотках синхронного компенсатора в рабочем режиме .....	232
<b>Оришевская Е. В., Приходько Е. В.</b>	
Микроскопический анализ золы Экибастузского угля при работе азрофилтра .....	237
<b>Птицын Д. В., Птицына Е. В., Кислов А. П., Бойко Г. Ф.</b>	
Влияние частоты на работу асинхронного двигателя .....	243
<b>Хацевский В. Ф., Хацевский К. В.</b>	
Энергосберегающие индукционные установки для нагрева и обработки жидкостей .....	251

УДК 621.184.8

**Е. В. Оришевская, Е. В. Приходько****МИКРОСКОПИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЗОЛЫ  
ЭКИБАСТУЗСКОГО УГЛЯ ПРИ РАБОТЕ  
АЭРОФИЛЬТРА**

*Представлены результаты лабораторного эксперимента по изучению фракционного состава золы.*

На работу золоуловителей существенное влияние оказывает крупность пыли. Фракционный состав золы, определяемый по диаметру частиц (дисперсный состав), зависит от исходного состояния (помола) топлива, типа установленного золоулавливающего оборудования и степени очистки газов в нем. В связи с широким классом применяемых мельничных устройств, фракционный состав золы на предприятиях Казахстана может меняться.

Для определения дисперсного состава летучей золы в уходящих газах пылеугольных котлов ТЭС применяются следующие методы: ситовый, воздушной сепарации, жидкостной седиментации, центробежной сепарации, и микроскопический анализ.

С помощью ситового анализа можно определить содержание частиц только больших 40 мкм [1]. Для анализа более тонкой пыли можно применить микроскопический метод, позволяющий измерять частицы размером 0,3–100 мкм.

Дисперсионный анализ производился для золы Экибастузского угля энергетических предприятий Павлодарского региона. Задачей исследования являлось определение фракционного состава золы перед инерционным золоуловителем и после него (фракции, улавливаемые аэрофильтром) [2, 3]. В начале экспериментального исследования был произведен ситовый анализ пробы золы до пропускания её через золоуловитель. Использовались сита размером ячеек 280, 250, 200, 160 и 140 мкм. По результатам анализа основная доля приходится на частицы размером менее 140 мкм и 160 мкм [4]. Частицы менее 140 мкм подвергались микроскопическому анализу. Затем зола улавливалась лабораторной моделью аэрофильтра. После пропускания порции золы через аэрофильтр снова производим ситовый и микроскопический анализ уловленной золы.

При микроскопическом анализе золы использовался цифровой металлографический микроскоп Альтами МЕТ 3. Изучаемая проба золы помещалась на железную линейку. Для определения размера частицы за единицу масштаба принималось расстояние между миллиметровыми делениями на линейке (рисунок 1).

Размеры частиц измерялись при наблюдении отдельных полей зрения. Отдельные поля зрения выбирают на пробе исследуемого порошка, перемещая его на величину, большую диагонали прямоугольника или диаметра круга, ограничивающего поле зрения. Частицу считают принадлежащей к рассматриваемому полю, если она находится на одной из половинок границ поля. В случае круга учитывают все частицы, находящиеся внутри его, а также все частицы, находящиеся на одной полуокружности и на одном конце проведенного диаметра (рисунок 2).

После определения размеров частиц были сгруппированы данные и произведены статистические расчеты, результаты которых представлены в таблице 1 и 2.

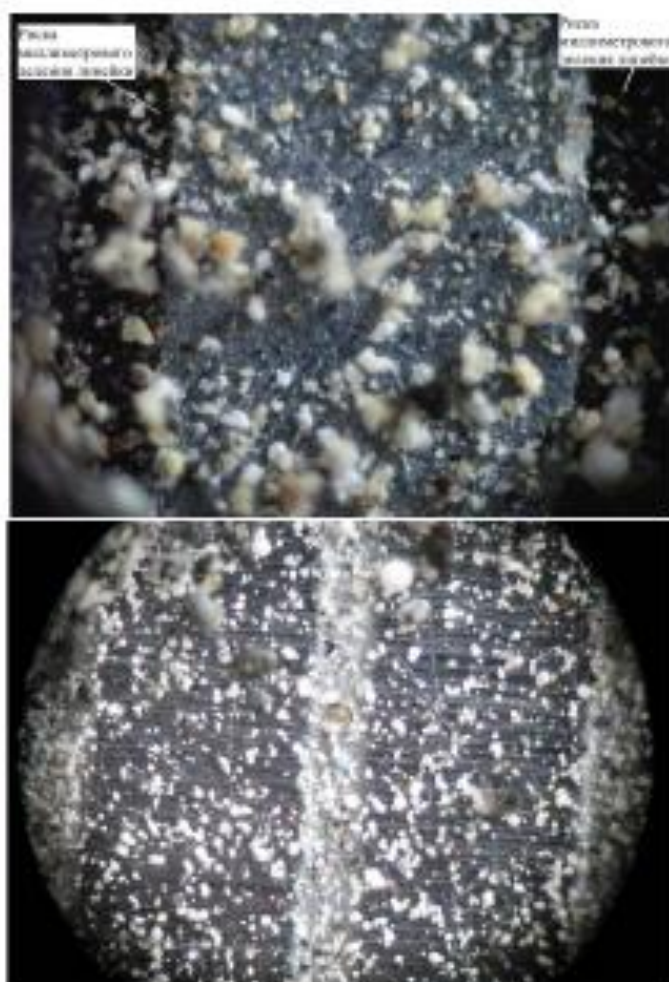


Рисунок 1 – Данные микроскопического анализа на одном поле зрения

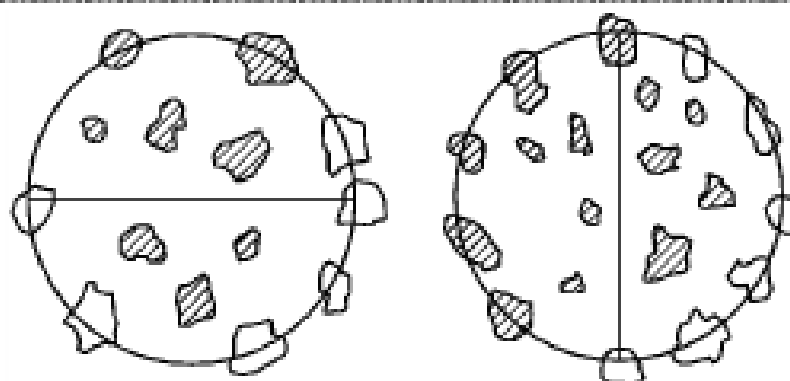


Рисунок 2 – К измерению размеров частиц в отдельных полях зрения

Таблица 1 – Данные микроскопического анализа до аэрофильтра

Диаметр частиц $\delta$ , мкм	Число частиц								Суммарное число частиц N
	I поле	II поле	III поле	IV поле	V поле	VI поле	VII поле	VIII поле	
2	25	10	15	22	20	-	-	-	92
5	25	23	17	-	-	17	9	15	106
10	76	83	11	65	47	67	27	12	388
15	53	45	35	75	70	73	48	18	417
20	55	58	-	67	97	10	54	18	359
25	6	-	48	-	-	40	-	-	94
30	24	28	20	55	38	4	20	20	209
35	-	16	0	40	25	31	0	0	112
40	17	0	24	12	4	15	15	0	87
45	3	8	4	0	0	0	2	0	17
50	5	5	12	22	14	15	1	10	84
60	2	3	0	1	6	13	3	-	28
70	4	7	2	4	3	5	0	2	27
80	2	3	10	2	1	5	0	8	31
90	0	0	0	0	3	2	0	10	15
100	0	9	2	3	0	2	0	3	19
115	0	6	2	0	0	0	0	9	17
130	2	7	1	3	2	3	0	18	36
									SN=2138

Таблица 2 – Данные для построения дифференциальной кривой распределения числа частиц по размерам до аэрофильтра

$\delta$ , мкм	2	10	30	50	70	90	110	130
$\Delta\delta$ , мкм	2	8	20	20	20	20	20	20
$\Delta D$ , %	4,3	22,9	50,2	13,9	2,6	2,1	1,7	1,7
$\Delta D/\Delta\delta$	2,15	2,86	2,51	0,7	0,13	0,105	0,08	0,09

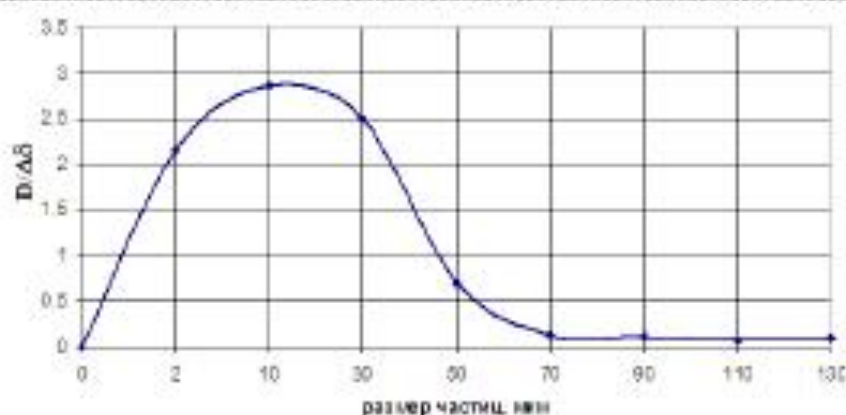


Рисунок 3 – Дифференциальная кривая распределения частиц по размерам при микроскопическом анализе до аэрофильтра

Как видно из дифференциальной кривой распределения частиц по размерам, максимум ее приходится на 10–15 мкм.

После прохождения золы через золоуловитель, согласно ситового анализа [4], максимальное количество в ней составляют частицы размером менее 140 мкм и 160 мкм, как и до аэрофильтра. Результаты микроскопического анализа этой же части золы приведены в таблицах 3 и 4.



Рисунок 4 – Данные микроскопического анализа одного поля зрения после золоуловителя



Таблица 3 – Экспериментальные данные микроскопического анализа после аэрофильтра

Диаметр частиц $\delta$ , мкм	Число частиц							Число частиц по всем полях N
	I поле	II поле	III поле	IV поле	V поле	VI поле	VII поле	
2	5	5	7	5	5	4	0	31
5	7	5	8	7	20	7	0	54
10	20	25	30	22	10	17	6	130
15	8	10	12	5	37	18	12	102
20	43	23	45	33	0	0	11	155
25	0	0	0	0	17	17	11	45
30	32	30	24	0	6	15	0	107
35	–	–	–	22	–	–	16	38
40	–	–	–	–	7	27	–	34
45	8	7	6	10	–	–	11	42
50	7	5	7	15	5	12	–	51
60	–	1	–	6	10	9	8	34
70	4	12	2	0	7	1	19	45
80	–	–	–	4	11	7	–	22
90	8	8	3	4	2	1	16	42
100	16	9	5	1	15	5	5	56
110	–	–	–	6	1	1	13	21
120	3	7	1	1	3	2	1	18
130	9	8	7	12	2	–	10	48
								SN – 1075

Таблица 4 – Данные для построения дифференциальной кривой распределения числа частиц по размерам после аэрофильтра

$\delta$ , мкм	2	10	20	30	40	50	70	90	110	130
$\Delta\delta$ , мкм	2	8	10	10	10	10	20	20	22	18
$\Delta D$ , %	2,8	16,6	23,2	13,6	6,4	8,4	7,1	5,8	7	5,9
$\Delta D/\Delta\delta$	1,4	2,1	2,32	1,36	0,64	0,84	0,36	0,29	0,32	0,33

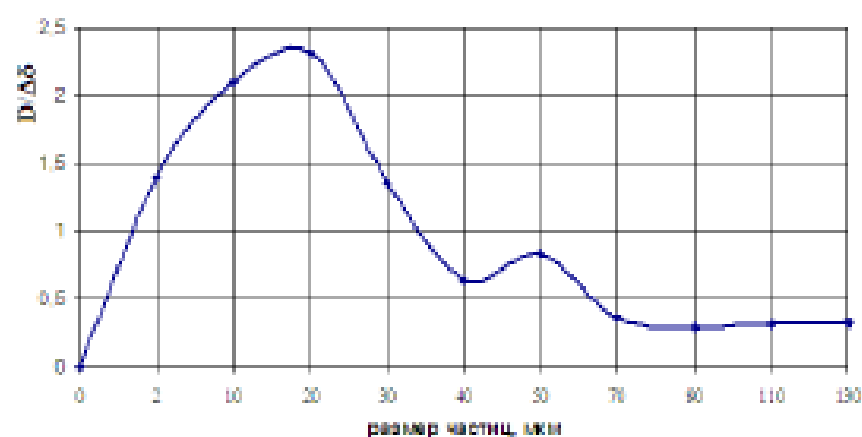


Рисунок 5 – Дифференциальная кривая распределения частиц по размерам при микроскопическом анализе после аэрофильтра

Из анализа дифференциальной кривой следует, что максимальное количество частиц, уловленных аэрофильтром, составляют фракции 10–20 и 50 мкм.

**Выводы:** 1. Из известных способов определения фракционного состава золовых частиц в дымовых газах ТЭС для нашего исследования применены ситовый и микроскопический анализ;

2. в связи с тем, что размер частиц представлен различными фракциями, микроскопический анализ был выполнен с различным масштабом увеличения;

3. по результатам проведенных исследований имеем следующий фракционный состав золы Экибастузского угля:

– до улавливания в аэрофильтре основную массу занимают частицы размером 10-15 и 160 мкм.

– максимальное количество частиц, уловленных аэрофильтром, составляют фракции менее 140 мкм (из них 15-20 и 50 мкм) и 160 мкм.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 РД 153-34.1-02.319-2001. Методические указания по определению коэффициента оседания  $f$  при оценке загрязнения атмосферы твердыми выбросами ТЭС с учетом дисперсности летучей золы. – М. : РАО «ЕЭС России», 2002. – 9 с.

2 **Оришевская, Е. В., Приходько, Е. В.** Анализ разработок современных инерционных пылеуловителей. «Вестник ПГУ» № 3-4. – Павлодар, 2012. – С. 171-178.

3 Патент № 12071. Поперечно-струйный аэрофильтр. / Агапов Ю. Е., Белоглазов В. П., Оришевская Е. В; опубл 15.10.2002, Бюл № 10. – 5 с : ил.

4 **Оришевская, Е. В., Приходько, Е. В.** Ситовый анализ золы Экибастузского угля. «Вестник ПГУ» № 1. Павлодар, 2014. – с. 116-122.

5 **Королев, Д. В. Наумов, В. Н., Суворов, К. А.** Определение дисперсного состава порошков микроскопическим методом: Методические указания к лабораторной работе. – СПб. : ГОУ ВПО СПб ГТИ (ТУ), 2005. – 41 с.

6 **Коузов, П. А.** Основы анализа дисперсного состава промышленных пылей и измельченных материалов. – Л. : Химия, 1987. – 264 с.

Павлодарский государственный университет  
имени С. Торайгырова, г. Павлодар.  
Материал поступил в редакцию 04.09.14.

*Е. В. Оришевская, Е. В. Приходько*

**Аэросүзгі жұмысы кезіндегі Екібастұз көмір күлдігінің  
микроскоптық анализы**

С. Торайғыров атындағы  
Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.  
Материал 04.09.14 баспаға түсті.

*E. V. Orishevskaya, E. V. Prichodko*

**The microscopic analysis of the Ekibastuz coal ashes at the aerofilter work**

S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar.  
Material received on 04.09.14.

*Күлдің фракционды құрамын зерттеу бойынша зертханалық  
сынақтардың нәтижелері көрсетілген*

*Results of laboratory experiment on studying of the fractional structure  
of ashes are presented*

УДК 621.3

**Д. В. Птицын\*, Е. В. Птицына\*\*, А. П. Кислов\*\*\*,  
Г. Ф. Бойко\*\*\***

## **ВЛИЯНИЕ ЧАСТОТЫ НА РАБОТУ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ**

*В докладе рассмотрены вопросы влияния регулирования частоты питающего напряжения на нагрев двигателя при работе на искусственных характеристиках, что следует принимать во внимание при выборе электродвигателя для частотно-регулируемых электроприводов.*

Основная цель энергоаудита, проводимых на предприятиях России и Казахстана – повышение эффективности работы электрооборудования. Электропривод центробежных насосов укомплектован мощными асинхронными электродвигателями, которые являются энергоемкими потребителями электроэнергии. Поэтому оптимизация электропотребления автоматизированного электропривода центробежных насосов является актуальной. Мощность асинхронных двигателей (АД), например, на электростанциях, может составлять более 5 Мвт. Для реализации плавного