

Министерство науки и высшего образования Республики Казахстан
НЕКОММЕРЧЕСКОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ
ИМЕНИ ГУМАРБЕКА ДАУКЕЕВА

УДК 662.62:620.178.169

На правах рукописи

ӘКІМБЕК ГҮЛМИРА ӘБІЛҚАЙРҚЫЗЫ

**РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ
АБРАЗИВНОСТИ СЫПУЧИХ ВЕЩЕСТВ**

специальность 8D07102 – Теплоэнергетика

Диссертация на соискание степени
доктора философии (PhD)

Отечественный научный консультант:
доктор технических наук,
профессор Алияров Б. К.

Зарубежный научный консультант:
кандидат технических наук
Бадакер В.С.

Республика Казахстан
Алматы, 2022

СОДЕРЖАНИЕ

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ.....	5
ОПРЕДЕЛЕНИЯ	7
ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ	9
ВВЕДЕНИЕ.....	11
1 СОСТОЯНИЕ ПРЕДМЕТА ИССЛЕДОВАНИЯ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ	23
1.1 Работы, связанные с определением сущности процесса абразивного износа.....	23
1.2 Исследования, связанные со снижением интенсивности абразивного износа летучей золой	28
1.3 Устройства для уменьшения абразивного износа поверхностей нагрева котлов при сжигании Екибастузских углей	31
1.4 Элементы котельного оборудования, подвергаемые абразивному износу угольными частицами	38
1.5 Постановка задач исследования.....	40
1.6 Выводы по первому разделу	41
2. ОРГАНИЗАЦИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ИНТЕНСИВНОСТИ АБРАЗИВНОГО ИЗНОСА УГОЛЬНЫМИ ЧАСТИЦАМИ	44
2.1 Выбор изнашивающего материала для проведения основных экспериментов	44
2.2 Контроль размера частиц используемого объема угля	46
2.3 Выбор материалов для изнашиваемых образцов	48
2.4 Определение степени заполнения установки исследуемыми угольными частицами.....	50
2.5 Выбор формы обеспечения взаимного движения абразива и изнашиваемого образца	52
2.6 Регулирование скорости взаимодействия образца и объема угля и других параметров процесса износа	52
2.7 Выбор формы экспериментальной установки	53
2.8 Выводы по второму разделу	53
3 ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ	55

3.1 Контроль параметров процесса абразивного износа угольными частицами	57
3.1.1 Контроль размера частиц в используемом объеме угля	57
3.1.2 Измерение степени износа образцов.....	58
3.1.3 Возможность использования экспериментальной установки диссертации в других направлениях исследований	59
3.2 Особенности проведения опытов по исследованию интенсивности абразивного износа угольными частицами	62
3.2.1 Выбор размера исследуемых угольных частиц	63
3.2.2 Выбор размера исследуемых угольных частиц	63
3.2.3 Выбор исследуемого объема угля	64
3.2.4 Выбор параметров изнашиваемого образца	64
3.2.5 Выбор уровня температуры для исследуемого объема угля	65
3.2.6 Выбор уровня влажности исследуемого объема угля	65
3.3 Вывод по третьему разделу.....	65
4 МЕТОДИКА КОНТРОЛЯ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА	68
4.1 Методические особенности проведенного исследования	72
4.2 Разработка метода контроля размера угольных частиц.....	73
5 ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ АБРАЗИВНОГО ИЗНОСА ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА	83
5.1 Влияние скорости взаимодействия образца и исследуемого объема угля на интенсивность износа угольными частицами	83
5.2. Влияние продолжительности опытов на интенсивность износа угольных частиц	85
5.3 Определение влияния влажности угольных частиц на интенсивность абразивного износа	88
5.4 Исследование зависимости интенсивности абразивного износа от уровня температурной обработки исследуемого объема угля.....	92
5.5 Исследование зависимости абразивного износа от степени выхода летучих из используемого объема угля	94
5.6 Исследование зависимости абразивного износа при разных формах и углах атаки	100

5.7 Исследование зависимости интенсивности абразивного износа угольными частицами от твердости образца	102
5.8 Формулы для расчета абразивности сыпучего материала	103
5.9 Оценка точности измерений	108
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	110
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	112
ПРИЛОЖЕНИЕ А Рекомендации по использованию предлагаемой установки.....	121
ПРИЛОЖЕНИЕ Б Полученные патенты по созданной установке	122
ПРИЛОЖЕНИЕ В Акт внедрения экспериментального стенда в учебный процесс	125
ПРИЛОЖЕНИЕ Г Проекта студенческих работ, по части исследования диссертационной работы, занявшие 1 место в Республиканском конкурсе НИРС	128
ПРИЛОЖЕНИЕ Д В результате международной стажировки получен сертификат и удостоверение о повышении квалификации	134
ПРИЛОЖЕНИЕ Е	136

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В настоящей диссертации использованы ссылки на следующие стандарты:

«Инструкция по оформлению диссертации и автореферата», МОН РК Высший аттестационный комитет. – Алматы: 2004 г., №377–3 г. Введ. 15.10.2004 г.

ГОСТ 7.32–2001 – Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. «Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления». – Астана: 2001 г.

ГОСТ 7.1–2003. Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления.

ГОСТ 17070–2014 Межгосударственный стандарт: Угли. Термины и определения Технические требования. - Введ. 01.04.2016- М.: Стандартиформ,2005.

ГОСТ Р 32558–2013 Межгосударственный стандарт: Уголь. Определениенасыпной плотности. 2016-04-01. – М.: Стандартиформ, 2014.

ИСО 562–98, ИСО 5071-1-97. Межгосударственный стандарт. Топливо твердое минеральное. Методы определения выхода летучих веществ. М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 6 с.

Технический регламент «Требования к безопасности углей и производственных процессов их добычи, переработки, хранения и транспортировки», утвержденный постановлением Правительства Республики Казахстан от 17 июля 2010 г. № 731 с изменениями от 16.10.2012 г.

СТ РК ИСО 5069-1-2009 Угли бурые и лигниты. Принципы отбора проб. Часть 1. Отбор проб для определения содержания влаги и для общего анализа.

СТ РК ИСО 5069-2-2009 Угли бурые и лигниты. Принципы отбора проб. Часть 2. Подготовка проб для определения содержания влаги и для общего анализа.

СТ РК 1094–2017 Угли и продукты их переработки, используемые для производства цемента

ГОСТ 24104–2001 Лабораторные весы

ИСО 562–98, ИСО 5071-1-97 (ГОСТ 6382–2001). Топливо твердое минеральное. Методы определения влаги в аналитической пробе. М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 5 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В настоящей диссертации применяются следующие термины с соответствующими определениями:

Абразив — это изнашивающий материал

Абразивность — это качества, свойства сыпучих материалов, истирать контактирующую поверхность

Абразивность летучей золы — это показатель способности частиц золы истирать поверхности, с которыми они контактируют в процессе движения

Виды износа: коррозионное, эрозионное

Влага - количество воды в материале

Выход летучих веществ угля – количество газообразных веществ выделяемого из угля при нагревании

Гранулометрический состав угля – количественная характеристика угля по размеру кусков

Допустимый износ – при изменении размера и формы изнашивания сохраняется уровень работоспособность устройства

Износ – процесс постепенного изменения размеров или формы твердого тела

Интенсивность изнашивания – изменение веса или формы образца за определенный период времени

Летучие вещества угля - газообразное вещество, выделяющееся из угля при нагреве без доступа воздуха

Механическое изнашивание –результат взаимодействия изнашивающих средств с изнашиваемым образцом

Объемный выход летучих веществ угля – объем летучих веществ на единицу объем угля, определяемый в установленных стандартом условиях.

Предельный износ – изменения размеров и формы, когда дальнейшее которое приводит к заметному изменению работоспособности элемента оборудования

Стадия метаморфизма угля - степень изменения состава и свойств угля при углеобразовании и определяющая его положение в генетическом ряду

Термогравиметрический анализ – метод термического анализа, при котором регистрируется изменение массы образца в зависимости от температуры

Угол атаки – это угол наклона образца

Фракционный состав угля – количественная характеристика угля по содержанию частиц разных размеров

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

R_i – размер фракции сыпучих материалов, мкм

d – диаметр цилиндров, мм

V_y – объем установки, м³

$V_{с.м}$ – объем сыпучего материала, м³

Δm – весовой износ образца, г

$m_{1,2}$ – масса образца до и после опытов, г

W^p – влажность угля, %

A^p – зольность угля, %

C^r – содержание углерода в составе угля

S – содержание серы в составе угля

H^r – содержание водорода в составе угля

N – содержание азота в составе угля

O – содержание кислорода в составе угля

V^r – выход летучих, %

ω – число оборотов, об/мин

α – угол атаки образца

τ – время, с

$t_{ч}$ – температура частицы, °С

t_p – температура усреднённой частицы массы, °С

t_y – температура установки, °С

ТЭС – тепловые электрические станции

БСУ – бункер сырого угля

ВЗП - воздухоподогреватель

ГЭС - гидроэлектростанция

ЛР – лабораторная работа

АТЭС – атомно-тепловая электростанция

НИРС - Конкурс научно-исследовательских работ студентов

США - Соединённые Штаты Америки

ЮАР - Южно-Африканская Республика

КОКСОН - Комитет по контролю в сфере образования и науки Министерства образования и науки Республики Казахстан

МНВО - Министерство науки и высшего образования Республики Казахстан

Реестр СИ РК - Реестру системы обеспечения единства измерений

Республики Казахстан

ВВЕДЕНИЕ

Потребление энергии в различных формах составляет основу промышленного и аграрного производства. По прогнозам и статистическим данным среднегодовой рост потребления электроэнергии в мире до 2030 года будет возрастать на 2,4 % [1].

При этом виды первичной энергии принято подразделять на возобновляемые и на топливные. В мировом потреблении использование возобновляемой энергии составляет величину менее 5 процентов. Доля использования древесины и отходов аграрного производства в топливной энергетике постоянно снижается и в настоящее время в мировом потреблении топлива составляет величину менее 1 процента [2].

Топливная энергетика в свою очередь, подразделяется на использование угля, нефти природного газа, из которых тепло извлекается через процесс сжигания. Использование атомной энергии также можно включить в топливную энергетику т.к. различие этого источника тепловой энергии сводится к форме выделения тепловой энергии без сжигания. Доля преобразования атомной энергии в тепловую и электрическую энергию уверенно выходит на третье место вслед за углем и природным газом [3].

Мировые запасы угля весьма значительны и по объему (добычи) потребления уступают только нефти. По оценкам, экономически приемлемые извлекаемые запасы угля приближаются к 1 триллиону тонн, что при нынешних темпах добычи составляет доступность около 200 лет. При этом следует учесть, что уголь, нефть и природный газ (в последние годы и биологическая масса) используются и в качестве технологического сырья с различной глубиной переработки [4].

Использование угля в качестве топлива для энергетики и частично технологического сырья, продолжится, как минимум, в ближайшие десятилетия. В настоящее время около 35 % электроэнергии в мире вырабатывается на угольных тепловых электрических станциях [5].

Привлекательность угля в качестве источника первичной энергии обуславливается несколькими обстоятельствами:

- в первую очередь относительно малой стоимостью единицы тепловой энергии;
- вторым фактором можно считать освоенность его сжигания на ТЭС;
- дополнительным достоинством угля можно считать относительную простоту его хранения в значительных объемах;
- возможность увеличения объема потребления практически мгновенно, что, например, при сжигании природного газа составляет несколько часов (в отдельных странах может достигать и 10 часов).

Однако сжигание угля сопровождается также несколькими негативными факторами. Наибольший недостаток угля в качестве топлива проявляется:

- в форме воздействия на окружающую среду (в которое можно включить и хранение золошлаковых отходов). Процесс шлакования топки в значительной степени обуславливается организацией топочного процесса и возникает, как правило, при отклонении режимных параметров от рекомендованных значений;
- необходимость его подготовки к сжиганию;
- наличие серы в топливе т.к. продукты сгорания серы (SO_2 и SO_3) в присутствии влаги могут образовать сернистую и серную кислоты (коррозия металлов парогенераторов, двигателей внутреннего сгорания, строительных конструкций и др.) [6]. Однако, выбросы окислов серы на Казахстанских ТЭС заметно меньше, чем на угольных ТЭС многих стран, в связи с относительно малым содержанием серы в исходном угле – менее 1 процента (Таблица 1.1);
- износ котельного оборудования, контактирующего с углем (до поступления в топку) и золой после сжигания.

Таблица 1.1 - Содержание серы в углях различных месторождений [4]-[7]

Наименования угля	S, %	Наименования угля	S, %
Казахстанские		США	
Шубарколь	0,5	Спрингфилд	4,0
Сарыадыр	0,3	Данвиль	3,0
Майкубен	0,4	Российские	
Екибастуз	0,8	Апсатский уголь	0,3
Каражыра	0,4	Кузнецкий уголь	0,3
Испанские		ЮАР	
Силивиль	5,0	Витбанк	2,0

Процесс абразивного износа котельного оборудования летучей золой достаточно изучен и разработаны устройства и механизмы его снижения.

При обсуждении выполненных исследований абразивного износа летучей золой, по-видимому, следует различать:

- изучение механизма процесса износа [8],
- влияние на этот процесс многих параметров [9],
- исследований абразивного износа оборудования проводились, как правило на действующих агрегатах, при которых определялась интенсивность износа различных поверхностей, как правило, трубной формы, с расположением труб в конвективной шахте с разным поперечным и продольным шагами между рядами труб [10] При этом определялось и распределение износа по периметру труб,
- разработка устройств и технических решений по снижению абразивного износа поверхностей котельного оборудования.

Актуальность предмета исследования. Наиболее полные исследования были выполнены в Казахском НИИ Энергетики имени академика Ш.Ч. Чокина д.т.н., профессором М. И. Вдовенко и к.т.н. А. Я. Баяхуновым, которые завершились утверждением общесоюзного стандарта на экспресс - метод определения абразивности летучей золы [11]. Следует отметить, что в этом методе изучалась интенсивность абразивного износа. Однако в этих и других исследованиях концентрация абразивных частиц контролировалась на недостаточном уровне и определялась расчетным путем. Кроме того, опыты

проводились практически в очень узком диапазоне изменения размера частиц золы. Скорость движения абразивной золы определялась скоростью несущего потока. Несущий поток в определенной степени создавал условия, допускающие обтекание образца наиболее мелкими частицами. В качестве изнашиваемого образца использовалась в основном плоская пластина, устанавливаемая под разными углами, в то время как большинство поверхностей, располагаемых в конвективной шахте котла, имеют трубчатые формы. Все опыты проводились с золой при комнатной температуре и при влажности, которая складывалась при исследованиях. Кроме того, при этом практически не рассматривалась возможность изменения размера частиц при взаимодействии с твердой поверхностью. Износ элементов котельного оборудования происходит также контактирующих с движущимся потоком угля (сбрасыватели угля с транспортной ленты, бункеры сырого угля, питатели угля и другие). Можно особенно подчеркнуть, что основная часть исследований абразивного износа проводилась с летучей золой. Практически отсутствуют исследования по абразивному износу угольными частицами, который наблюдается на многих элементах котла. В частности, процессы дробления и измельчения угля неизбежно сопровождаются абразивным износом мелющих органов. С другой стороны известно, что угольные частицы, в отличие от летучей золы, могут менять свои абразивные свойства при различных температурах и при различной влажности. Вплоть до того, что при большой влажности угля происходит «замазывание» мелющих элементов. Кроме того, при нагреве из угольных частиц неизбежно выделяются летучие вещества, которые могут повлиять на интенсивность абразивного износа.

В связи с этим было принято решение о проведении серии исследований по изучению абразивного износа поверхностей угольными частицами и в качестве первого этапа был выбран износ частицами с размерами, близкими к дробленому углю, которые наиболее удобны для опытов.

Целью проводимого исследования является определение интенсивности абразивного износа угольными частицами трех основных месторождений Казахстана:

- при различных температурах;
- при различной влажности;
- при изменении размера;
- при различном объеме выделения летучих веществ;
- при различных угла контакта с изнашиваемым образцом;
- при различных формах изнашиваемого образца.

Задачи исследования. Проведение такого исследования требует решения целой группы задач: в частности, еще до начала создания экспериментальной установки, необходимо было определиться с изнашивающим объектом. Первый и очевидный вариант – по аналогии изучения износа летучей золой воспроизводить вариант износа частицами, движущимися в потоке воздуха. Однако подробный анализ результатов исследования износа летучей золой, который практически во всех исследованиях двигался в потоке воздуха или дымовых газов показал, что такие исследования могут проводиться в очень узком диапазоне изменения размера частицы и как правило, накладываются искажающее обтекание изнашиваемого образца частицами золы. С другой стороны, этот вариант воспроизводил износ, преимущественно, в конвективной шахте, в которой происходил износ только летучей золой. Кроме того, при такой организации опытов, поток с частицами золы используется только «один» раз и покидает установку. При использовании возврате отработавших угольных частиц будет иметь место два фактора искажающих их размер:

- во-первых, частицы, с размерами менее определенного размера, не будет улавливаться в отделительных установках;
- во-вторых, при столкновении с поверхностью образца при определенной скорости (можно назвать критической) или при достаточной

продолжительности опыта происходит неизбежное частичное измельчение угольных частиц;

Кроме того, износ угольными частицами имеет место и при движении «чисто» угольных частиц (дробилка, сбрасыватель угля с транспортерной ленты, мелющие органы мельниц, элементы сепаратора и другие).

В связи с этим в диссертации был выбран вариант изучения износа «только» угольными частицами на специальной установке. Это в свою очередь потребовало:

- создание установки для изучения абразивного износа угольными частицами при изменении основных параметров процесса с достоверным воспроизведением исследуемого процесса;

- разработка методики, которая позволит определить влияние конкретного параметра при неизменности других параметров, в частности;

- сохранение неизменным размера угольных частиц в изнашивающем объеме угля (одного из факторов, оказывающих существенное влияние на интенсивность абразивного износа).

Это в свою очередь потребовало проведение специализированных исследований, в том числе:

- определение скорости движения и времени контакта изнашивающих объемов угля и образца, при которых изменение размера угольных частиц сохранится в допустимых пределах (не более 5% от исходного размера);

- определение допустимой степени заполнения объема установки изнашивающим материалом, при которой пусковые токи двигателя, обеспечивающего требуемое вращение образца, окажутся приемлемыми;

На установке, созданной с соблюдением перечисленных условий, могло проводиться исследование влияния основных параметров на интенсивность абразивного износа, в том числе:

- размера частиц угля;
- уровня нагрева частиц угля;
- степени извлечения летучих;

- влажности объема угля;
- при различных углах взаимодействия образца с объемом угля.

Новизна результатов диссертационного исследования:

- разработана методика сохранения размера изнашивающих угольных частиц в допустимых пределах при изучении интенсивности абразивного износа с изменением основных параметров процесса

- создана установка для исследования интенсивности абразивного износа (получены патенты на полезную модель и на изобретение РК);

- определена интенсивность абразивного износа:

- разными углями;
- при различных размерах изнашивающих угольных частиц;
- при различной скорости взаимодействия изнашивающего материала и образца;

- при различных углах взаимодействия образца с объемом угля;

- при различных формах изнашиваемого образца;

- при различной температуре объема угля;

- при различном уровне извлечения горючих летучих из угля;

- при различной влажности объема угля.

- составлена формула зависимости интенсивности абразивного износа при исследованных диапазонах изменения параметров процесса.

На защиту выносятся:

- методика исследования и установка для изучения интенсивности абразивного износа разными углями при изменении основных параметров процесса.

- результаты исследования интенсивности абразивного износа:

- разными углями;

- при различных размерах изнашивающих угольных частиц;

- при различной скорости взаимодействия изнашивающего материала и образца;

- при различных углах взаимодействия образца с объемом угля;
- при различных формах изнашиваемого образца;
- при различной температуре объема угля;
- при различном уровне извлечения горючих летучих из объема угля;
- при различной влажности объема угля;
- при различной твердости изнашиваемого образца.

Достоверность полученных результатов. При проведении экспериментов соблюдались требуемые условия проведения опытов и использовалась измерительная аппаратура с требуемой точностью:

- для определения фракции сыпучего материала использовался набор с разными размерами сит с взвешиванием на аналитических весах доли на каждом сите;

- взвешивание образца до и после опытов проводилось на аналитических весах;

- термическая обработка изнашивающихся объемов угольных частиц проводилась в муфельной печи с контролем температуры тепловизором и термометром;

- прочность образца измерялась стационарным твердомером.

Все эти параметры измерялись поверенными средствами. Достоверность экспериментов подтверждаются сериями экспериментов при использовании идентичных фракций угля, при которых наблюдалось их требуемое совпадение.

Апробация полученных результатов. В процессе выполнения диссертации опубликованы семнадцать научных трудов. На основании результатов исследований получены 2 патента РК на изобретения, 1 патент РК на полезную модель, шесть докладов опубликованы в материалах международных конференций, 2 статьи в изданиях базы КОКСОН МНВО. В международных изданиях базы данных Web of Science и Scopus опубликованы следующие статьи:

1. Orumbayev R.K., Bakhtiyar B.T., Umyshev D.R., Kumargazina M.B., Otyunchiyeva M.T., Akimbek G.A. Experimental study of ash chafe of boiler heat exchange surfaces. // Energy Volume 215, Part A, January 15, 2021, 119119. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.119119>, Web of Science, Q1, percentile 96.

Вклад соискателя 60%, (Thomson Reuters).

2. Akimbek, G.A., Aliyarov, B.K., Akimbekova, S.A., Zhauytm, A. Determination of the intensity of abrasive chafe by different chafeing materials. //Metalurgija, Том 60, Выпуск 3-4, pp. 351 – 354, July 2021. Web of Science, Q3, percentile 60. Вклад соискателя 70%, (Thomson Reuters).

3. Akimbek, G.A., Aliyarov, B.K., Badaker, V.C., Akimbekova, S.A. Methodology and experimental setup for the study of relative abrasiveness of bulk solids. // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences, 2022, 2022(1), pp. 14–20. Percentile 47. Вклад соискателя 70%, (Scopus)

4. Akimbek, G., Aliyarov, B., Akimbekova, S. The Development of the Method and Determination of the Relative Abrasiveness of Bulk Substances. // E3S Web of Conferences, 2020, 207, 05003. Percentile 25. Вклад соискателя 70%, (Scopus).

Практическая ценность результатов.

1. Разработана методика и создана установка для определения абразивного износа угольными частица, необходимая при проектировании теплоэнергетического оборудования. Полученные результаты обобщены в виде формулы для определения интенсивности абразивного износа при изменении исследованных параметров в исследованном диапазоне. С разработчиками «Дополнений» в существующему «Нормативному методы расчета котельных агрегатов согласована возможность включения составленной формулы в будущий текст «Дополнений».

Созданная установка вполне применима для определения абразивного износа другими сыпучими телами при соблюдении отмеченных условий проведения исследований.

2. Составлено методические указания к лабораторным работам студентам 4 курса по дисциплине «Тепловые энергетические установки» [12]:

- ЛР №1 «Исследование абразивности частиц сыпучих материалов средней фракции»;

- ЛР №2 «Способ определения степени выхода летучих при рабочих температурах от 20 до 400⁰С».

3. Получен акт внедрения в учебный процесс лабораторной работы по дисциплине «Тепловые энергетические установки» (Приложение В).

Личный вклад автора в решении исследуемого вопроса включает:

- создание стенд и

- разработка методики проведения требуемых исследований с приемлемой достоверностью,

- выполнение исследования влияния на интенсивность абразивного износа угольными частицами:

- скорости взаимодействия абразива и образца

- размера, температуры и влажности угольных частиц,

- степени выхода летучих угля,

- формы изнашиваемых образцов,

- анализ и обобщение полученных результатов,

Краткое содержание диссертации.

Диссертация представлена в виде соответствующей требованиям МОН РК на оформление.

Работа состоит из 5 основных разделов, списка нормативных ссылок и условных обозначений, введения, заключения, списка использованной литературы и приложений.

В первом разделе диссертации приведен обзор литературы по изучению процесса абразивного износа летучей золой, по исследованию путей снижения абразивного износа поверхностей нагрева котлов летучей золой и другие. На основе этого обзора установлена недостаточность

исследований абразивного износа, угольными частицами на всем пути перемещения от разгрузки вагонов до каналов движения смеси топлива и воздуха в горелках.

Второй раздел посвящен описанию экспериментального стенда для исследования интенсивности абразивного износа сыпучими материалами и включая выбор изнашивающего материала и и изнашиваемых образцов.

Третий раздел посвящён выбору метода исследования для изучения влияния изменения основных параметров процесса на интенсивность абразивного износа, в частности требовалось обеспечить:

- приемлемое изменение размера угольных частиц при различной скорости и продолжительности контакта исследуемого образца с объемом угольных частиц;
- уровень допустимого заполнения объема установки угольными частицами;
- определить приемлемый размер, форму и материал изнашиваемого образца,
- изменение угла установки изнашиваемого образца;
- получения требуемого объема угля:
 - с разной температурой;
 - с разным уровнем выхода летучих;
 - с разной влажностью угля;
 - с разными размерами изнашивающих угольных частиц.

Четвертый раздел посвящен разработке методики контроля основных параметров процесса, в частности представлены результаты исследования изменений размеров частиц угля в зависимости от скорости и времени.

Пятый раздел представляет результаты определения интенсивности абразивного износа угольными частицами при изменении:

- размера угольных частиц;
- влажности изнашиваемого объема угля;
- степени выхода летучих;

- скорости взаимодействия изнашивающих частиц с изнашиваемым образцов разных форм;
- результаты анализа и обобщения полученных данных;
- составление формулы для расчета интенсивности абразивного износа угольными частицами.

В заключении диссертации обобщены результаты исследования и сформулированы основные выводы по диссертационной работе. Также отмечены задачи дальнейших исследований, в частности, отмечена необходимость проведения исследований по разработанной методике абразивного износа при дроблении и измельчении угля.

На этой установке, с большой достоверностью, может быть исследована интенсивность абразивного износа элементов ГЭС при взаимодействии с твердыми частицами разных размеров, попадающих на контактируемые поверхности, при разной концентрации, при разных углах атаки, при разных скоростях набегающего водного потока.

Эта установка так же позволяет изучить закономерности выхода летучих разных углей и их смесей с другими горючими веществами (в определенной степени процесс газификации).

В приложениях приведены рекомендации по использованию разработанной методики и установки, обеспечивающих изучение интенсивности абразивного износа другими сыпучими материалами, патенты, акты внедрения, выписки из протокола, сертификаты, протокол за лучшую работу в НИРС РК 2022, измерительные приборы внесенные в реестр СИ РК.

1 СОСТОЯНИЕ ПРЕДМЕТА ИССЛЕДОВАНИЯ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Следует изначально отметить, что исследований, связанных с закономерностями интенсивности абразивного износа угольными частицами практически, не оказалось и, в связи с этим проводился обзор работ, связанных с абразивным износом летучей золой. При этом обзор этих работ, проводился с некоторым разделением по направлениям исследований.

1.1 Работы, связанные с определением сущности процесса абразивного износа

Для многих работ было характерно экспериментальное изучение физических эффектов столкновения твердых частиц с поверхностью. Например, Сыркин С.Н. [13] на основе анализа поверхностей, подвергшихся ударом частиц, пришел к выводу, что износ в основном обусловлен выбиванием материала из поверхности с образованием кратером. С другой стороны, Лебедев И. К. [14] считал, что процесс износа аналогичным процессу резания. Братчиков В. Н. [15] в своей гипотезе о сущности абразивного износа утверждает, что «в абразивном потоке золовых частиц явление удара и явление среза неразрывно между собой связаны, поэтому износ нужно рассматривать как взаимодействие всех сил при ударе частицы о поверхность, а не оказывать предпочтение ни нормальной, ни касательной составляющим сил удара, величины которых обусловлены местом удара частицы по периметру трубы т.к. деформация поверхности трубы происходит. при воздействии каждой из этих составляющих, в частности величин нормальной составляющей оказывает влияние на толщину стружки, а касательная составляющая - на интенсивность срезания данной стружки». Рябченков А. В. [16] исследовал коррозионно-абразивный износ на специальном стенде, установленном на котле и на лабораторной установке. Стенд работал на запыленном потоке дымовых газов, отбиравшемся из котельного агрегата перед водяным экономайзером, и позволял иметь

скорость потока газа до 70 м/сек. Средняя расчетная концентрация золы в потоке газа составляла 25 г/м³. Температура потока колебалась в пределах 280°–350°. В испытательной камере стенда устанавливался вертикальный четырехрядный пучок 10 образцов труб из стали 20 с диаметром 38/мм с толщиной стенок 3,5 мм, размещаемых в шахматном порядке с шагом 52,5 мм. Исследование процесса разрушения труб проводилось при рассчитанных скоростях абразивного потока 18,3; 21,5; 50,9 и 64,3 м/сек. Это позволяло достоверно воспроизводить процесс абразивного износа летучей золой в дымовых газах.

Все эксперименты проводились на золе только тощего угля, и в результате, непосредственно из экспериментов, был получен коэффициент абразивности только для золы этого угля.

Интенсивность износа определялась по убыли веса образцов и по величине утонения их стенок в различных точках поверхностей износа. В результате этих исследований получено, что угол максимального износа цилиндрических образцов соответствует 45° (при относительно слабой зависимости от скорости запыленного потока) [17].

Экспериментальная установка, примененная Братчиковым В. Н. [8, с.14], при исследовании износа частицами летучей золы представляла собой вертикально расположенную аэродинамическую трубу прямоугольного сечения с нисходящим потоком. Зола подавалась шнековым питателем в верхнюю часть трубы. В аэродинамической трубе устанавливались в коридорном порядке по две трубы в ряду. На этой установке Братчиков В. Н. изучал влияние механических свойств металлов на износ горизонтально и наклонно расположенных труб. Так же как в опытах Рябченкова А.В [9, с.24]. в этом случае изучался износ золой одного угля.

Кащеев В.Н. [18] в своих исследованиях применил установку, принципиально отличающуюся от других установок. В установке абразивное зерно поступало в вертикальную трубку и под действием собственного веса разгоняется и ударяется о поверхность вращающегося кольца, заключенного

в коробку. Износ цилиндрической поверхности кольца происходит в основном за счёт ударов точек кольца об абразивные зерна. Эта установка по принципу организации износа достаточно близко к установке рассматриваемого диссертационного исследования. Зерно, участвовавшее в эксперименте, улавливается и используется повторно. Однако, что при этом не контролировался размер зерен т.к. без достаточных оснований предполагалось сохранение размера зерен, которые вполне могли изменяться в процессе взаимодействия с образцом. На этой установке Кащеев В. Н. изучал влияние размера зерен, температуры среды и содержания углерода в зернах на износ образцов из стали 20. Совместно с Глазковым В. М. [19] изучалось влияние скорости падающих обломков из твердого сплава ВК8 на износ на пластинку из малоуглеродистой стали. В этих опытах, так же как в исследованиях Веллингера и Уэтц [20], было установлено, что при изменении отношения твердости абразива к твердости изнашиваемого материала наблюдается нарушение линейной зависимости износа от скорости взаимодействия.

Имеются исследования, которые основывались на воспроизведении в лаборатории условий работы натуральных поверхностей нагрева или наблюдение за износом котельных труб летучей золой непосредственно на действующих электростанциях. В ЦКТИ для изучения износа летучей золой была создана экспериментальная установка, на которой опыт длился от 10 до 250 часов. Вдовенко М.И. [21] проводила исследования коррозионно-абразивного изнашивания на специальном стенде с испытательной камерой, установленном на электростанции и на лабораторной установке. Контроль износа осуществлялся взвешиванием труб до и после опыта.

Для определения коэффициента, характеризующего интенсивность абразивного износа летучей золой, в некоторых случаях использовались результаты наблюдений за износом натуральных поверхностей нагрева. Сыркин С. Н [22] на основании наблюдений за износом котельных труб на нескольких станциях в течение 2–12 лет определил интенсивность

абразивного износа летучей золой Кизеловского и Челябинского (с примесью богословского) углей.

Для определения истирания непосредственно в газоходах котла применялись полукольцевые опытные манжеты длиной порядка 100 мм, прикрепляемые к трубам хомутами или вязальной проволокой [23].

В результате экспериментов, проведенных на шпунтовых газоходах котла, были получены значения интенсивности абразивного износа летучей золой подмосковного угля.

Дубовский И.Н. [24] также проводил исследования износа летучей золой на стендовой установке, выполненной в виде шпунтового газохода котла, к которому подводились дымовые газы вместе с летучей золой при температуре 450°-500°С.

Пользуясь этой методикой, Кузнецов Н. В. [25] изучил распределение износа по рядам и периметру труб. Кроме того, он экспериментально доказал необходимость учёта вероятности ударов частиц золы о стенку труб, которая в свою очередь зависит от фракционного состава летучей золы, диаметра труб, скорости и температуры газа.

Известные исследования закономерностей абразивного износа, как уже отмечалось, связаны преимущественно с изучением воздействия летучей золы. Наиболее полные исследования были выполнены в Казахском НИИ Энергетики имени академика Ш.Ч. Чокина д.т.н., профессором М. И. Вдовенко и к.т.н. А.Я. Баяхуновым, которые завершились утверждением общесоюзного стандарта на экспресс - метод определения интенсивности абразивного износа летучей золой. Однако в этих и в других исследованиях концентрация абразивных частиц определялось только расчетным путем [26]. Кроме того, опыты проводились практически в очень узком диапазоне изменения размера частиц летучей золы. Скорость движения абразивной золы определялась скоростью несущего потока и несущий поток, в определенной степени, создавал условия, допускающие некоторое обтекание образца частицами. В качестве изнашиваемого образца использовалась в

основном плоская пластина, устанавливаемая под разными углами, в то время как большинство поверхностей, располагаемых в конвективной шахте котла, имеют трубчатые формы. Все опыты проводились с золой при комнатной температуре и при влажности, которая складывалась при исследованиях, практически не рассматривалась возможность изменения размера частиц при взаимодействии с твердой поверхностью.

Экспериментальная установка, примененная при исследовании интенсивности абразивного износа Братчиковым В. Н., представляла собой вертикально расположенную аэродинамическую трубу прямоугольного сечения с нисходящим потоком. Трубы устанавливались в коридорном порядке по две трубы в ряд. На этой установке Братчиков В. Н. изучал влияние механических свойств металлов на износ горизонтально и наклонно расположенных труб [34].

Почти во всех вышеописанных исследованиях преследовалась цель воспроизвести в лаборатории условия, аналогичные условиям работы котельных труб. Это стремление приводило к тому, что опыты были очень длительными и однако даже в этом случае износ труб получался мало ощутимый и его фиксирование с достаточной точностью представляло большие трудности.

Благодаря вышеизложенным исследованиям, было установлено влияние большой группы факторов, влияющих на износ летучей золой. Следует отметить, что во всех этих исследованиях изнашиваемый образец (или элемент котла) находился в неподвижном состоянии, на который направлялся изнашивающий поток летучей золы с воздухом или дымовыми газами. Некоторые ограничения в исследовании интенсивности абразивного износа таким образом отмечались ранее. Можно особенно подчеркнуть, что основная часть исследований проводилась с летучей золой и практически отсутствуют исследования по абразивному износу угольными частицами.

1.2 Исследования, связанные со снижением интенсивности абразивного износа летучей золой

Очевидно, что целью исследований летучей золой была разработка решений по снижению абразивного износа. Однако до сих пор не существует достаточно эффективных, надежных, способов защиты от, как общего, так и локального (местного) износа или же они достаточно дороги для использования [28].

Наиболее действенным и часто применяемым способом снижения золового износа является уменьшение скорости дымовых газов, а следовательно, и скорости золовых частиц (здесь и далее подразумевается, что дымовые газы представляют собой слабо запылённый дисперсный поток). Это требование привело к переходу от П-образного вывода дымовых газов на одну сторону котла к Т-образному выводу дымовых газов на две стороны. С другой стороны, в исследовании [29] было использовано увеличение поперечного шага между трубами (до 3,5) что также позволило уменьшить скорость дымовых газов и соответственно снизило абразивный износ. Практический и теоретический опыт эксплуатации водяных экономайзеров и других теплообменных поверхностей с оребрением труб также показал, что при этом происходит некоторое снижение абразивного износа. В работе [30] проведены экспериментальные исследования влияния размеров золовых частиц, их скоростей и угла атаки от 15° до 60° на износ труб экономайзера и максимальный износ был выявлен при угле 45° . Проведенные исследования также показали, что установка ребер на трубы (при достаточной простоте его применения) заметно повышает износостойкость труб.

Результаты опытов с поверхностями из разных материалов показали, что закаленная сталь имеет более износостойкую поверхность. [31].

В работе [32] проведены исследования износа при использовании плазмы при сжигании твёрдого топлива.

Известны численные методы исследования износа металлических поверхностей теплообменных аппаратов котельных установок [33]. Особый

интерес вызывает исследование численным методом абразивного износа пучков труб из нержавеющей стали [34] с 4 типами материала частиц различных размеров. Показано, что при максимальном размере частиц наибольшей эрозии подвергаются фронтные (передние) ряды труб. Однако при снижении размеров частиц (до средних) возрастал износ последующих труб. Авторы также показали, что наибольшей эрозии подвергаются трубы, находящиеся вблизи стенок.

Другим способом снижения износа металлических поверхностей котлов является нанесение специального напыления [35]. Исследования влияния нанесения наноструктур (в виде Ni-20Cr) показало заметное увеличение износостойкости в сравнении с микронным напылением [36]. В работе [37] исследовались защитные напыления которые наносились термическим методом. Именно такое упрочнение поверхности было применено в молотковых мельницах.

В работах [38] исследовалась износостойкость с никель-хромового сплава. И специфических материалов - Alpha 1800, Armacor M и Ducor. Например, Alpha 1800, имел в 5–10 раз большую износостойкость по сравнению с традиционной сталью 20, используемой в котлах.

В статье [39] представлены результаты сравнение износостойкости различных сплавов при наличии горения. Исследования показали значительное влияние этого процесса, в частности установлено ускорение износа при повышении температуры. В работе [40] показано, что при скоростях ниже 10 м/с и при разных значениях температуры, концентрации кислорода в потоке, размеров частиц, скорость износа поверхности углеродистой стали не превышает 0,05 мкм/ч (которая считается приемлемой).

В работе [41] на лабораторном стенде исследовалось влияние добавления различных материалов, в частности доломита, известняка в образцы изнашивающего угля. Исследования проводились на металле AISI

1018. Результаты показали, что соединения SiO_2 , Al_2O_3 и Fe_2O_3 повышают износ металлических поверхностей.

Снизить износ золой, также можно, организацией восходящего движения дымовых газов через конвективные поверхности нагрева, например, в котлах башенной компоновки конвективных поверхностей, т.к. при башенной компоновке происходит снижение скорости дымовых газов на величину скорости свободного падения частиц золы. Однако практически не были исследованы особенности распределения износа по рядам при восходящем потоке. Имеется определенное количество оценок величины снижения износа за счет изменения направления движения с нисходящего на восходящее для шахматных и коридорных пучков труб при различных относительных продольных и поперечных шагах их размещения [42]. При восходящем движении износ по глубине пучка либо равномерен, либо уменьшается. При восходящем движении, так же, как и при нисходящем движении с увеличением шага между трубами уменьшается их износ. К сожалению, в отечественном котлостроении котлы башенной компоновки пока не нашли широкого распространения, хотя имеются готовые проекты [43]. Это в большей степени обусловлено повышением стоимости здания при росте высоты котла.

При нисходящем движении потоков в шахматных пучках при малых относительных поперечных шагах наблюдается повышенный износ труб второго ряда. Увеличение относительного продольного шага (в исследованном диапазоне) также приводит к возрастанию износа второго ряда.

Увеличение поперечного шага между трубами приводит к снижению износа второго ряда и к возрастанию износа последующих рядов, причём в большей степени для тех пучков, у которых шаг между трубами меньше. При восходящем движении износ по глубине пучка либо равномерен, либо уменьшается. Так же, как и при нисходящем движении при восходящем движении с увеличением шага между трубами уменьшается их износ. В

целом, при восходящем движении, пучки труб с шахматным расположением изнашиваются более равномерно, чем при нисходящем [44].

В коридорных пучках труб в зависимости от относительных шагов наибольшему износу подвержены либо второй ряд, либо последующие по ходу движения газов ряды. При малых шагах между трубами наибольшему износу подвержен первый ряд труб, что в общем согласуется с физикой процесса износа, т.к. при плотном размещении, изнашивающий поток в значительной степени «воспринимает» этот пучок труб как одно обтекаемое тело. При нисходящем движении износ по глубине пучка имеет тенденцию к увеличению, в то время как при восходящем движении износ по рядам стремится к стабилизации [28]-[44]. Например, у пакетов труб соотношение износа выходного и входного участков для восходящего движения составляет 1,05–1,15, для нисходящего движения оно несколько больше 1,15–1,25 т.е. при восходящем движении износ практически равномерен, при нисходящем движении он несколько увеличивается по глубине рядов труб. Видимо, это связано с аэродинамической стабилизацией потока и разгоном частиц до скорости газа в межтрубном пространстве.

К сожалению, в отечественном котлостроении котлы башенной компоновки пока не нашли заметного распространения, при наличии готовых проектов [45]. Это в большей степени обусловлено повышением стоимости здания при росте высоты котла. Из вышеперечисленного обзора видно, что практически все исследование связаны с износом летучей золой.

В связи с этим актуальность изучения закономерностей износа угольными частицами не вызывает сомнений.

1.3 Устройства для уменьшения абразивного износа поверхностей нагрева котлов при сжигании Екибастузских углей

Зольность Екибастузского угля колеблется от 40 и до 45–48 %. Этот фактор, помимо непростых вопросов по эффективному сжиганию высокозольных углей с абразивной золой, поднимает проблемы защиты

конвективных поверхностей нагрева котлов от абразивного износа и частой замены труб конвективной поверхности энергетических и водогрейных котлов. В таких станциях ежегодно заменяется большое количество «калачей» подогревателей воздуха, например, в странах СНГ замена производится стальных конвективных труб суммарным весом более 50 000 тонн в год.

Поэтому углей при сжигании высокозольных углей, типа Екибастузских, с золой с повышенной абразивностью, предлагается установка для защиты конвективных труб котла от золового износа в энергетических и водогрейных котлах, позволяющей одновременно повысить тепловую эффективность конвективных змеевиков и пакетов труб с увеличением срока эксплуатации конвективных пакетов труб до проектных и более.

Известно устройство защиты змеевиков конвективных поверхностей нагрева от золового износа, которое содержит гребенки, установленные на вертикальных стенках газохода над пучком горизонтальных труб и между трубами, не превышающими восемь шагов между трубами пучка [46].

Основным недостатком выше указанного устройства по защите труб от износа является увеличение скорости запыленного потока в суженном пространстве между гребенками, и изменения траектории движения зольных абразивных частиц. Из длительной практики эксплуатации конвективных змеевиков и пакетов труб котлов известно, что именно при подходе к зоне трубной поверхности под углами 30–45° абразивные частицы золы максимально изнашивают поверхность труб. В большинстве случаев это происходит в местах изгиба труб у вертикальных стенок газохода или между изгибами труб противоположащих пакетов змеевиков, так называемы «калачи».

Наиболее близким по технической сущности к предлагаемой установке является устройство, содержащее съемные стержни, установленные на стенках газохода над защищаемыми трубами с образованием горизонтальных и вертикальных рядов, выполненные с диаметром, близким к диаметру

конвективных труб, имеющих заданный (вертикальный) продольный и горизонтальный поперечный шаг. При этом стенки газохода снабжены направляющими, с подвижно установленными вдоль этих стенок вертикальными пластинами, в каждой из которых закреплена группа стержней.[47].

Основным недостатком этого решения является то, что неохлаждаемые стержни из-за перегрева (при достаточно высоких температурах до 600°С) могут сильно деформироваться и отклониться относительно защищаемой конвективной трубы.

Сущность предлагаемой установки поясняется чертежами (рисунок 1, 2, 3).

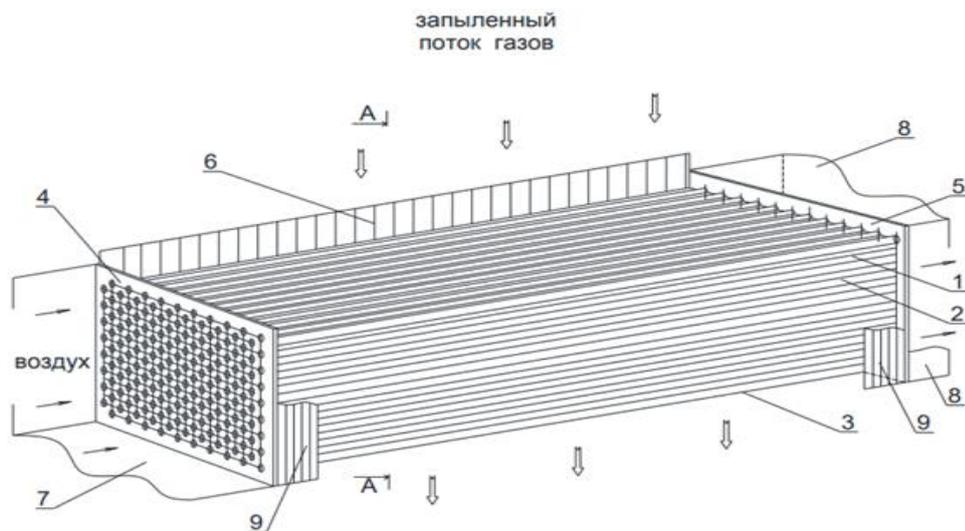
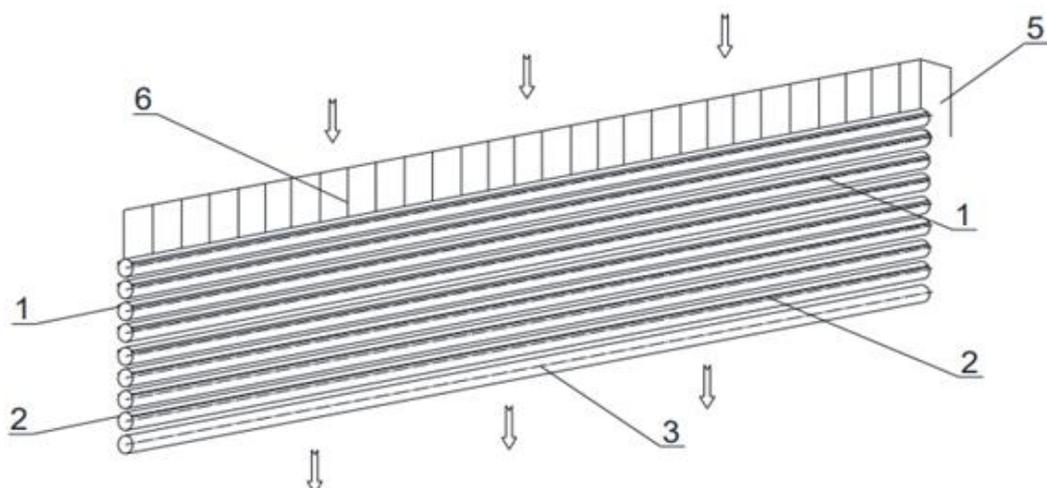


Рисунок 1.1 - Общий вид элемента змеевикового экономайзера.

На углах атаки в диапазоне по углу от 30° до 45° относительно поверхности труб частицы золы сталкиваются со стержнями практически под углом 90°. В результате скорость взаимодействия частицы с поверхностью защищаемой трубы заметно снижается. Можно отметить, что более эффективным может быть установка плоских пластин под углом $\approx 90^\circ$ к потоку.

Устройство для защиты конвективных труб котла от золового износа с проволокой (рисунок 1, 2, 3) работает следующим образом.



1 - стальная защитная проволока диаметром до 6 мм с первого по пятый ряд конвективных труб;

2 - стальная защитная проволока диаметром до 4 мм с шестого по восьмой ряд конвективных труб;

3 - конвективные стальные трубы диаметром ($D_{тр}$) 28, 32, 38, 41, 51 мм;

Элементы конвективного пакета труб, расположенные вертикально:

4 - левая трубная доска с левой симметричной стороны конвективного пакета труб воздухоподогревателя;

5 - правая трубная доска с правой симметричной стороны конвективного пакета труб воздухоподогревателя;

6 - тыльный экран, ограничивающий конвективный пакет труб в конвективном газоходе;

7 - входной воздушный короб к левой трубной доске с трубами диаметром ($D_{тр}$) от 28 мм до 51 мм;

8 - выходной воздушный короб от правой трубной доски с трубами диаметром ($D_{тр}$) от 28 мм до 51 мм.

9 - промежуточный или фестонный экран котла.

Рисунок 1.2 - Один вертикальный ряд труб экономайзера.

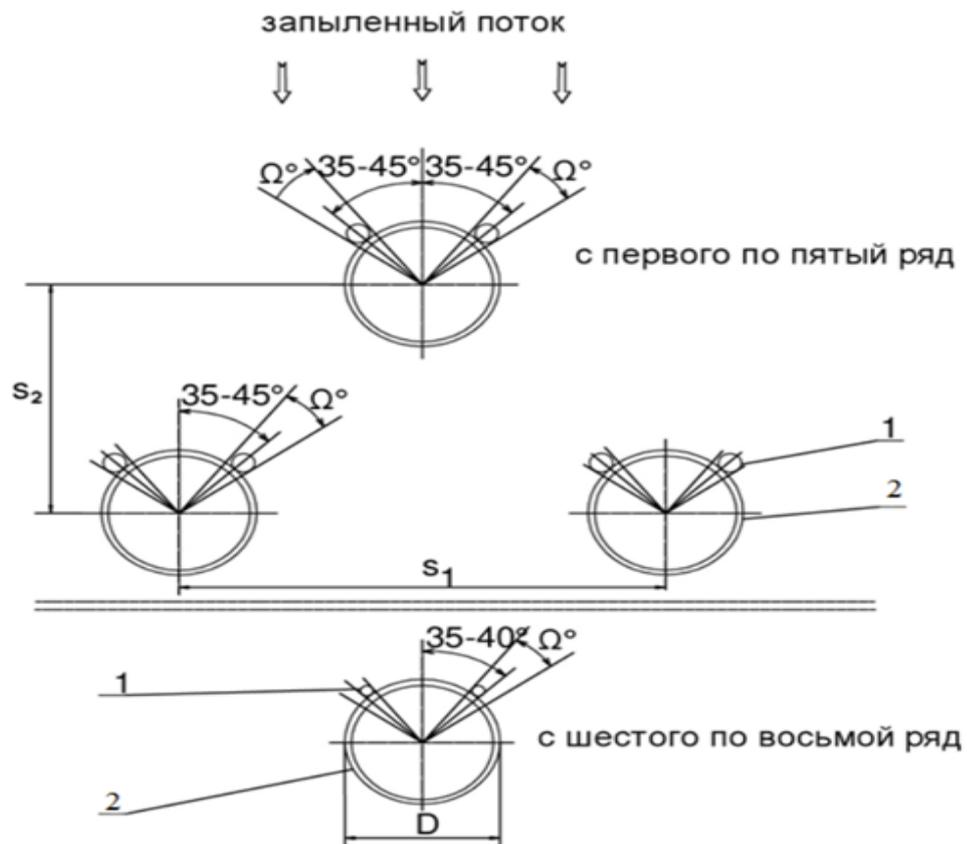


Рисунок 1.3 - Сокращенный элемент поперечного сечения первых конвективных рядов труб экономайзера.

На углах атаки в диапазоне по углу от 30° до 45° относительно поверхности труб частицы золы сталкиваются со стержнями практически под углом 90° . В результате скорость взаимодействия частицы с поверхностью защищаемой трубы заметно снижается. Можно отметить, что более эффективным может быть установка плоских пластин под углом $\approx 90^\circ$ к потоку.

Устройство для защиты конвективных труб котла от золового износа с проволокой (рисунок 1, 2, 3) работает следующим образом.

Абразивному износу, как правило, наиболее подвержены первые восемь рядов труб и симметричная установка защитной проволоки эффективно защищает наиболее уязвимые зоны симметричных поверхностей первых рядов труб по всей длине в пакете. При этом тепловая эффективность пучка может оказаться ниже, чем у классического гладкотрубного пакета

труб с шахматным расположением трубных пучков. Однако известно, что установка таких пластин заметно увеличивает аэродинамическое сопротивление всего пакета.

Установка защитной проволоки в симметричных зонах под углом 90° , защищает трубы от абразивного износа, не допуская соприкосновения с поверхностью трубы.

Эффективность предлагаемого устройства подтверждается тепловыми и аэродинамическими расчетами газового потока с определением наиболее опасной скорости и углы атаки частиц золы в зоне установки защитной проволоки в первых рядах труб. При этом усредненный расчетный коэффициент теплоотдачи нового конвективного пакета, выше на 7-10 %, относительно гладкотрубного пакета труб с шахматным расположением.

Из рассмотрения процесса абразивного износа известно, что **износу летучей золой** подвергаются:

- элементы, располагаемые в конвективной шахте – трубы подогревателя воздуха и экономайзера
- элементы мокрых уловителей золы - стенки трубы Вентури и скруббера, особенно на участке тангенциального ввода в скруббер частиц золы, коагулировавших с каплями воды,
- внутренние поверхности трубы, по которым движутся удаляемая смесь воды и золошлаковых отходов.

В приведенном обзоре известных исследований установлено, что вид абразивный износ летучей золой изучен на действующих агрегатах, на специальных стендах. Результаты исследований внесены в Тепловой (нормативный) расчет котельных агрегатов. Попутно можно отметить, что полученные результаты имеют достаточные ограничения, обусловленные условиями проведения исследований, включая относительно узкий диапазон изменения основных параметров процесса, в частности по изменению размеров золовых частиц. Практически во всех рассмотренных случаях, изучался износ, который производится золовыми частицами именно этого

котла. Дополнительно можно также отметить, что практически во всех случаях изнашиваемая летучая зола движется вместе с дымовыми газами с заметно разным уровнем температур от почти в 1000°C на входе в конвективную шахту до 140°C на входе в уловители золы. Однако эксперименты с летучей золой традиционно проводились практически при комнатной температуре.

Выполненный обзор показал, что разработаны устройства по снижению абразивного износа летучей золой элементов котельного оборудования. В частности, предложено устройство для защиты конвективных труб котла от износа летучей золой в виде стальной проволоки с установкой под оптимальным углом атаки к потоку. Изготовление такой защиты для первых рядов труб достаточно технологично и удобно в обслуживании и при ремонте.

На основе экспериментов получена величина снижения износа для поперечно-омываемых пучков труб экономайзеров, а также для труб и трубной доски трубчатых воздухоподогревателей при использовании таких устройств. Предложена конструкция конвективной поверхности нагрева с защитным устройством с равномерным и несколько пониженным изнашиванием всех рядов труб. На основе расчетов установлено различие в износе при восходящем и нисходящем движениях потоков одиночного цилиндра.

Как видно из обзора, **подвергаются эрозионному (абразивному) износу золой:**

- элементы, располагаемые в конвективной шахте – трубки подогревателя воздуха и экономайзера;
- элементы мокрых уловителей золы - стенки трубы Вентури и скруббера, особенно на участке тангенциального ввода частиц золы, коагулировавших с каплями воды, в скруббер;
- внутренние поверхности трубы, в которой движется удаляемая смесь воды и золошлаковых отходов;

1.4 Элементы котельного оборудования, подвергаемые абразивному износу угольными частицами

К таковым можно включить:

- элементы фрезерных дробилок;
- элементы системы подачи угля от фрезерных дробилок до склада и подачи угля от склада до транспортерных лент;
- сбрасыватели с транспортерной ленты в бункеры сырого угля (БСУ);
- выходная часть БСУ;
- мелющие органы и внутренние стенки корпусов мельниц;
- лопатки и корпус сепаратора;
- внутренние поверхности труб доставки смеси угольных частиц и воздуха до горелки;
- внутренние поверхности канала угольных частиц и воздуха в горелке.

Здесь следует отметить, что, в отличие от износа летучей золой, в процессе износа углем «участвует» уголь практически всех размеров частиц от рядового угля на фрезерной дробилке с переходом на износ угольными частицами с размерами дробленного угля на пути от угольного склада до выхода из бункеров сырого угля, до износа в процессе измельчения и износа измельченным углем по пути движения от мельниц до выхода из горелки в топку. Именно такой разброс по размерам изнашивающих угольных частиц отличает износ углем от износа летучей золой. В отличие от диапазона изменения температуры летучей золы от 1000°С до 140°С температура угольных частиц меняется в диапазоне от менее 200°С (в мельницах), до комнатной температуры на остальных элементах оборудования ТЭС и котла

Представленное перечисление показывает, что уголь взаимодействует со значительной частью котельного оборудования. Однако выполненный обзор известных исследований закономерностей эрозионного износа показал, что износ угольными частицами весьма слабо изучен. Можно отметить, что это еще раз подтверждает актуальность выбранной тематики диссертационного исследования

Однако, учитывая все факторы, влияющие на абразивный износ угольными частицами в диссертации, был применен подход, заметно отличающийся от случая износа летучей золой. В этом случае опыт по определению интенсивности абразивного износа проводился с одним и тем же объемом угля трех основных месторождений Казахстана. При этом изнашивающий объем угольных частиц оставался неподвижным и скорость взаимодействия обеспечивалась движением образца. Образец и изнашивающий объем угля размещались в пространстве между двумя коаксиальными цилиндрами. Изнашиваемый съемный образец крепился на внутреннем вращающемся цилиндре. Степень заполнения пространства между цилиндрами объемом угольных частиц выбиралась из условия обеспечения приемлемых токов при пуске установки. Длина образцов выбиралась из условия обеспечения практически полного контакта и, в связи с этим условием длина образца практически совпадала с уровнем заполнения пространства между цилиндрами. Другие условия проведения опытов по изучению интенсивности абразивного износа угольными частицами будут отмечены по ходу изложения материала диссертации.

Необходимый для исследований нагрев угольных частиц и соответственно обеспечивающих разный выход летучих:

- в одном случае выход летучих из угля обеспечивался при нагревании массы в объеме пространства между наружным и внутренним цилиндрами, от 20 до 300⁰С

- при втором методе выделение летучих достигалось нагреванием в муфельной печи с обеспечивающим постоянную температуру нагрева (900±5) °С [27].

Таким образом, в задачи диссертационной работы входили:

- **создание установки** для изучения абразивного износа угольными частицами при изменении основных параметров процесса

- **разработка методики**, которая может обеспечить определение влияния конкретного параметра при сохранении неизменными других

параметров. В частности, например, обнаружилось что при выбранной методике изучения износа углем необходимо:

- обеспечить сохранение размера угольных частиц в изнашивающем объеме в допустимых пределах (0.95 от исходного размера), что в свою очередь требует проведения исследований по определению допустимой скорости и времени движения образца;

- определить допустимую степень заполнения объема установки изнашивающим материалом;

- на этой установке по разработанной методике необходимо выполнить исследования по **определению влияния на интенсивность абразивного износа:**

- размера частиц угля,
- уровня нагрева частиц угля,
- степени извлечения летучих,
- влажности изнашивающего объема угля,
- различных углов взаимодействия образца с изнашивающим объемом угля.

Опыты проводятся с тремя Казахстанскими углями.

1.5 Постановка задач исследования

Исходя из проведенного выше анализа, в данной работе ставится задача:

- создание установки для изучения абразивного износа при изменении основных параметров процесса;

- разработка методики, при которой **обеспечивается** сохранение размера угольных частиц в изнашивающем объеме в допустимых пределах (0.95 от исходного размера) при исследовании интенсивности процесса абразивного износа:

- определение допустимой скорости и времени движения образца;

- определение допустимой степени заполнения объема установки изнашивающим материалом;

На созданной установке по разработанной методике намечалось определение влияния основных параметров на интенсивность абразивного износа, в том числе:

- размера частиц угля,
- уровня нагрева частиц угля,
- степени извлечения летучих из угля,
- влажности изнашивающего объема угля,
- при различных углах взаимодействия образца с изнашивающим объемом угля.

Опыты будут проведены с тремя Казахстанскими углями.

1.6 Выводы по первому разделу

Таким образом, у угля, как в качестве топлива, так и в качестве технологического сырья большое будущее. Однако отмечались и недостатки использования углей для ТЭС, в число которых можно включить большое влияние на окружающую среду в виде выбросов в атмосферу летучей золы, окислов азота и серы и необходимость хранения больших объемов золошлаковых отходов сжигания, абразивный износ угольными частицами и летучей золой. Следует отметить, что улавливание летучей золы на ТЭС Казахстана находится на уровне лучших мировых достижений. Используемые в Казахстане методы снижения концентрации окислов азота и серы в дымовых газах, выбрасываемых из «единой» трубы, по уровню достигаемого снижения пока еще недостаточны. Эти проблемы возрастают для Казахстана в связи с широким использованием углей с высоким содержанием минеральной части.

Практически все известные исследования абразивного износа проведены с летучей золой. Результаты исследования использовались их внесением в соответствующий раздел справочника тепловой расчет котлов

(нормативный метод) [48], по которому проектируются котлы. Исследования износа летучей золой проводились в разных условиях. К ним относятся:

- **изучение интенсивности износа летучей золой на действующем котле** которая определяется по изменению толщины труб (ВЗП и/или экономайзера).

Достоинство метода – определяется износ золой сжигаемого угля при условиях эксплуатации этого котла

Недостатки – основные параметры, определяющие износ усредняются (как правило, по году): в частности:

- размеры частиц золы определяются по результатам отбора частиц из конвективной шахты

- концентрация частиц золы в потоке определяются расчетным путем по годовому расходу сжигаемого угля и по среднему за год, объему дымовых газов;

- скорость взаимодействия частиц золы с элементами котла определяются расчетом по среднему за год объему дымовых газов. Это означает, что полученные результаты применимы только для условий этого котла и на их основе практически невозможно составить эмпирические расчетные формулы.

- **исследование абразивного износа летучей золой на экспериментальных установках.**

Достоинства – параметры, определяющие износ задаются. По результатам исследования могут составляться эмпирические расчетные формулы

Недостатки:

- исследуется зола, прошедшая термическую обработку в условиях топки конкретного котла при сжигании исследуемого угля;

- размеры частиц золы усредняются по результатам ситового анализа, не учитывается частичное обтекание изнашиваемого образца частицами золы;

- очень узкий диапазон изменения размера частиц;
- не могли быть исследованы изменение температуры, и влажности частиц золы;
- исследуемая зола используется только один раз т.к. после взаимодействия удаляются.

Выполненный анализ показал, что уголь и как топливо и как технологическое сырье имеет несомненные преимущества перед другими источниками первичной энергии. Самый важный из них - гарантированный доступ к этому сырью в ближайшие несколько сотен лет. Другое преимущество – это наличие отработанных технологий использования с достаточной полнотой на каждом этапе. Это еще раз подтверждает актуальность исследования износа угольными частицами элементов котельного оборудования и ТЭС.

2. ОРГАНИЗАЦИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ИНТЕНСИВНОСТИ АБРАЗИВНОГО ИЗНОСА УГОЛЬНЫМИ ЧАСТИЦАМИ

2.1 Выбор изнашивающего материала для проведения основных экспериментов

В качестве изнашивающего материала были выбраны угли Шубаркольского и Екибастузского месторождений и уголь месторождения Каражыра.



Рисунок 2.1 - Расположение и доступность крупных месторождений угля [49]

Екибастузский бассейн каменных углей [6, с.40], уникальный по концентрации запасов, занимает всего 160 кв. км при более 12 млрд. тонн возможного объема добычи. Бассейн расположен в Северо-Восточной части Казахстана и, по существу, представляет собой одно большое месторождение, которое почти полностью разведано и в значительной степени освоено. Мощность угольных пластов меняется от 85 до 145 метров. Зольность угля в пластах меняется от 30 % до 70%. Достоинством Екибастузского угля можно считать: его малую влажность, что почти исключает смерзание угля в вагонах, выход горючих летучих веществ (на рабочую массу) не очень большой, что заметно снижает опасность

возгорания при хранении на складах и опасность взрыва при размоле в мельницах и другие.

Шубаркольский уголь расположен в Центральном Казахстане и имеет лучшие показатели по теплотехническим характеристикам. В связи с этим, он широко востребован на внутреннем рынке в качестве топлива для индивидуального отопления и частично экспортируется в страны дальнего зарубежья.

Месторождение каменного угля Каражыра (Юбилейное) расположено в Северо-Восточной части Казахстана по Казахстанским и Российским меркам расположено относительно недалеко от Екибастузского бассейна – менее 500 км. Общая мощность угольных пластов около 180 метров. Ресурсы угля оцениваются в 1.7 млрд т. Зольность угля заметно меньше по сравнению с Екибастузским. Однако, влажность угля значительно больше и очень большой (до 50%) выход летучих веществ. Можно повторно отметить, что исследовалась интенсивность абразивного износа углями трех Казахских месторождений [6]-[68].

Состав этих углей представлен в таблице 2.1.

Таблица 2.1 - Состав угля отмеченных месторождений [50]

Месторождения	Состав угля, %								Теплота сгорания ккал/кг		Химический состав шлака, %				
	W _p	A ^p	C ^r	H ^r	N	O	S ^r	V ^r	Q _H ^p	Q _B ^r	SiO ₃	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO
Екибастузский	9,0	40	81,0	5,0	1,5	11,5	0,6	24,0	4870	7860	63,2	28,0	1,7	2,3	0,7

Месторождение	W _p	A ^p	C ^r	H ^r	N	O	S ^r	V ^r	Q _H ^p	Q _B ^r	Si O ₃	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	C a O	Mg O
Шубаркольский	13,0	6,0	75,6	5,1	1,5	16,2	0,4	43,4	5253	6209	57,09	22,19	7,11	2,68	1,84
Каражыра	14,0	19,0	74,4	5,58	1,51	18,0	0,45	47,0	4500	7016	53,22	23,52	7,21	3,36	1,20

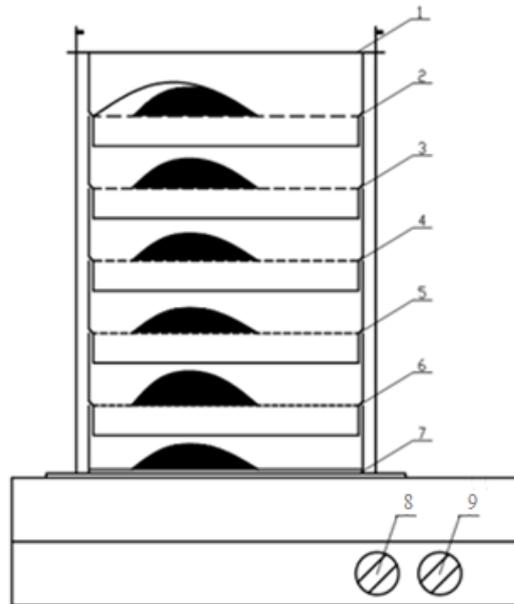
2.2 Контроль размера частиц используемого объема угля

Неоднократно отмечалась необходимость сохранения неизменным (на уровне не менее 95 процентов от исходного размера). В связи с этим в процессе всех опытов (в некоторых опытах особенно тщательно) проводилось измерения размера угольных частиц.

Для проведения анализа гранулометрического состава исследуемую массу угля в 1000 граммов засыпают на верхнее сито 4000 мкм и включают вибростенд на 10–20 мин. После истечения времени вибрации, образовавшийся на разных отмеченных ситах фракции угля взвешиваются на аналитических весах с точностью до 0,001 грамм. Эта операция проводится во всех опытах.

Сито в наборе на стенде AS 200 RETSCH располагаются в следующем порядке 4000, 3000, 2000, 1000, 500 мкм и остатки после последнего сита считаются поддоном. Следует отметить, что сито 500 мкм считается стартовым размером. для угля, измельчаемого в мельницах [51].

Для определения фракции сыпучего материала использовался стенд AS 200 RETSCH.



- 1) крышка с гайками,
- 2) сито - 4000мкм,
- 3) сито – 3000 мкм,
- 4) сито – 2000 мкм,
- 5) сито -1000 мкм
- 6) сито – 500 мкм,
- 7) сито - поддон
- 8) таймер, время рассева (10–20 мин)
- 9) регулятор частоты вибрации 10–100 Гц.

Рисунок 2.2 - Стенд AS 200 RETSCH

Таблица 2.2 - Необходимые фракции изнашивающего материала

Вид топлива	R 1000 мкм означает больше 1000 мкм меньше 2000мкм	R 2000 мкм означает больше 2000 мкм меньше 3000мкм	R 3000 мкм означает больше 3000 мкм меньше 4000мкм
	Массы после рассева, поступающая в объем установки, г		
Шубаркольский	1000	1000	1000
Каражыра	1000	1000	1000
Екибастузский	1000	1000	1000



Исследованные фракции угля, на рисунке 2.3.

а)

в)

с)

Рисунок 2.3 – Вид исследуемых фракций (Екибастузский): а) 3000 мкм, в) 2000 мкм, с) 1000 мкм [27, с.474]

2.3 Выбор материалов для изнашиваемых образцов

Твёрдость материалов является одной из важных характеристик изнашиваемого образца. Для изнашиваемых образцов была выбрана сталь марки 20 (исключение специальные опыты с материалами с разной твердостью) Как уже отмечалось, твердость образца затрудняет определение величины износа.

Размеры образцов выбирались из условия обеспечения достаточно полного контакта с исследуемым объемом угля и имели длину на уровне 0.45 от диаметра внешнего цилиндра и в результаты имели:

- пластинчатый образец с линейными размерами: высота - 90мм, ширина – 30мм, толщина - 3мм;
- размер цилиндрического образца: высота - 90мм, диаметр – 30мм.



Рисунок 2.4 - Виды образцов.

Твердость образца определялся с помощью универсального твердомера с измерением твердости по Роквеллу (шкала HRC), общий вид которого приведен на рисунке 2.5.



Рисунок 2.5 - Стационарный твердомер.

Определение твердости образцов производится в следующей последовательности. Пластинчатый (цилиндрический) образцы прижимаются к конусу прибора и на верхней шкале определяется значение твердости исследуемого материала. Эти измерения повторяются в нескольких местах по длине образцов и полученные результаты усредняются (арифметически). Аналогичные измерения проведены с 3 образцами (плоскими и

цилиндрическими). В таблице 1.3 показаны полученные значения твердости. Погрешность прибора, 1.2 кгс/мм².

Повторно можно отметить, что для основной серии опытов использовались образцы из стали 20. При определении влияния твердости образца на интенсивность абразивного износа был использован плоский образец из нержавеющей стали, обладающей более высокой твердостью. результаты этих исследований будет описаны в четвертой главе.

2.4 Определение степени заполнения установки исследуемыми угольными частицами

Как уже отмечалось, для исследования зависимости интенсивности абразивного износа угольными частицами (также и другими сыпучими материалами) была создана специальная установка. Установка представляла собой два цилиндра, расположенных коаксиально и закрытые с торцов с достаточной плотностью. Пространство между цилиндрами заполнялось изнашивающим объемом угля на уровне 0.45 от диаметра внешнего цилиндра. Эта степень заполнения была установлена на основе специальных опытов (рисунок 2.6)

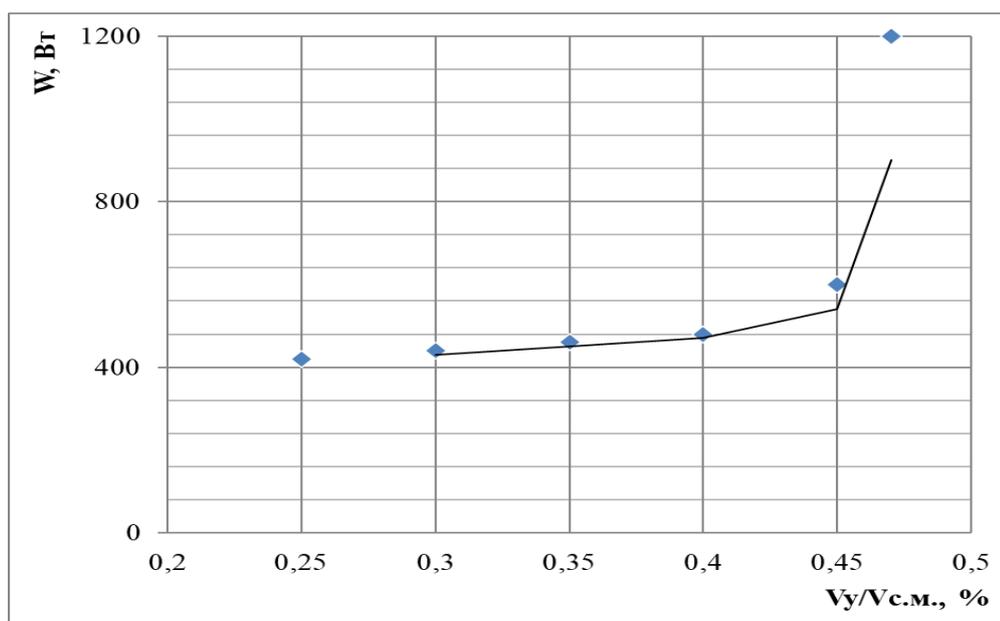
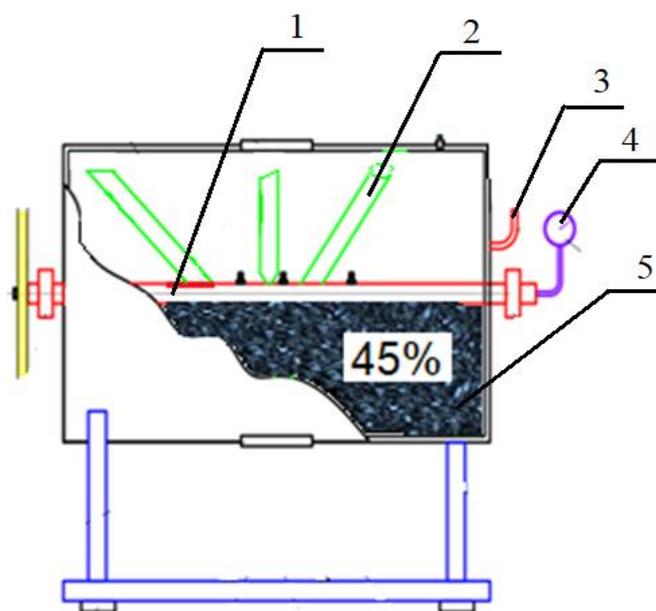


Рисунок 2.6 - Влияние степени заполнения пространства установки исследуемым

Из этой зависимости видно, что при превышении уровня заполнения углем пространства между коаксиальными цилиндрами более 45 % наблюдается редкий рост пускового тока и эту степень заполнения можно назвать критической.

Данные, приведенные на рисунке 2.6 показывают, что приемлемый уровень заполнения объема модели находится на уровне 0.45 от радиуса наружного цилиндра. При таком заполнении обеспечивается требуемый контакт изнашиваемого образца (также с длиной на уровне 0.45 того же радиуса наружного цилиндра).



1 – внутренний цилиндр, 2 – образец, 3 – дымоход, 4 – тахометр, 5 – уголь с определенной фракции.

Рисунок 2.7 - Схема заполнения объема установки исследуемым углем

Образцы с длиной, также на уровне 0,45 от диаметра внешнего цилиндра крепились к внутреннему цилиндру, что обеспечивало требуемый контакт образца с изнашивающим объемом угля.

Потребляемая мощность установки составляет 2 кВт, из них мощность электродвигателя 400 Вт, измерительные приборы потребляют – 100Вт.

2.5 Выбор формы обеспечения взаимного движения абразива и изнашиваемого образца

Анализ опыта исследования абразивного износа летучей золой показывает, что во всех случаях изнашивающий поток набегал на неподвижный образец, что означало соответствовало реальному процессу. Однако, как уже отмечалось, этот путь изучения абразивного износа имеет ряд недостатков. В связи с этим в диссертационной работе был выбран как бы «обратный» вариант - изнашивающий объект находился в неподвижном состоянии, изнашиваемый образец – перемещался. При таком способе обеспечивался больший контроль за соблюдением изменения основных параметров процесса.

2.6 Регулирование скорости взаимодействия образца и объема угля и других параметров процесса износа

Требуемая скорость перемещения образца относительно объема угля обеспечивалась регулированием частоты вращения внутреннего цилиндра. Для загрузки и извлечения исследуемого объема угля при необходимости определения гранулометрического состава, на внешнем цилиндре предусмотрена специальный люк. При исследовании уровня выхода летучих из объема угля, на торцевой части внешнего цилиндра был предусмотрен специальный вывод для образующихся летучих.

На наружной стороне внешнего цилиндра были установлены электрические подогреватели, допускающие нагрев исследуемого объема угольных частиц до 400°C. Можно отметить, что при нагреве исследуемого объема угля исключался доступ воздуха в пространство между цилиндрами, что позволило исключить возгорание выделяющихся летучих и исследуемого объема угля (особенно Шубаркольского угля и угля месторождения Қара жыра). Кроме того, при исследовании интенсивности абразивного износа углем с различной величиной удаления летучих веществ исследуемый объем

приводился к комнатной температуре, что исключало влияние температуры используемого объема угля.

2.7 Выбор формы экспериментальной установки

Перечисленные решения по обеспечению достоверного изучения процесса абразивного износа привели к выбору формы экспериментальной установки в виде двух коаксиальных цилиндров. Изнашивающий объем угля (другого сыпучего материала) засыпался в пространство между цилиндрами и оставался неподвижным в процессе опытов. Съёмный изнашиваемый образец крепился на внутренний вращающийся цилиндр. Нагревание пространства между цилиндрами производился электрическими нагревателями, размещенными снаружи внешнего цилиндра.



Рисунок 2.8 - Сборка установки

2.8 Выводы по второму разделу

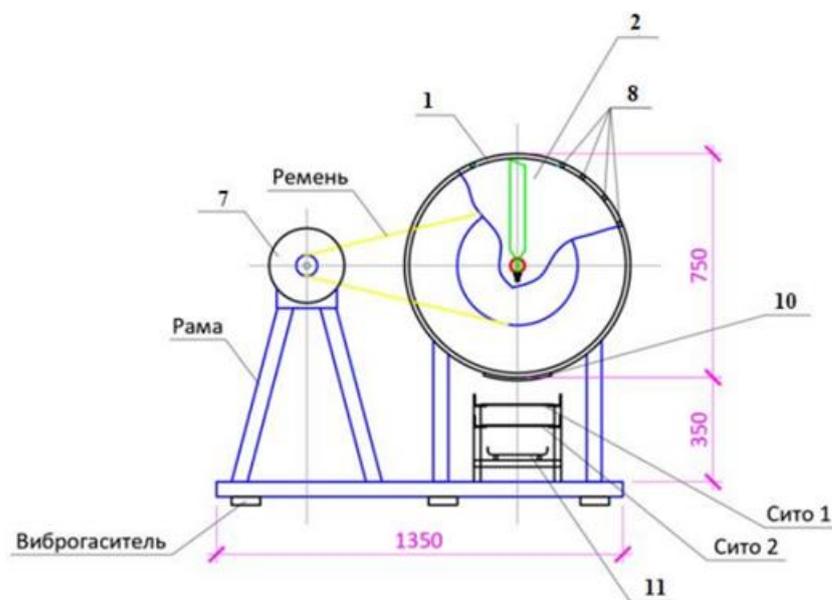
Необходимо отметить, что утвержденные методы определения, по существу, определяют интенсивность абразивного износа и пересчетом вычисляют абразивность золы. Анализ показывает, что абразивность золы,

по своей физической сути, весьма близка к размольной способности. По всей вероятности, эту характеристику следует определять аналогично определению размольной способности – относительно эталонного материала. Кроме того, для некоторых углей абразивность золы меняется от условий термической обработки в связи с разными преобразованиями элементов минеральной части угля.

Достоверное и представительное определение перечисленных показателей угля конкретного месторождения определяет надежную работу оборудования котельных установок ТЭС.

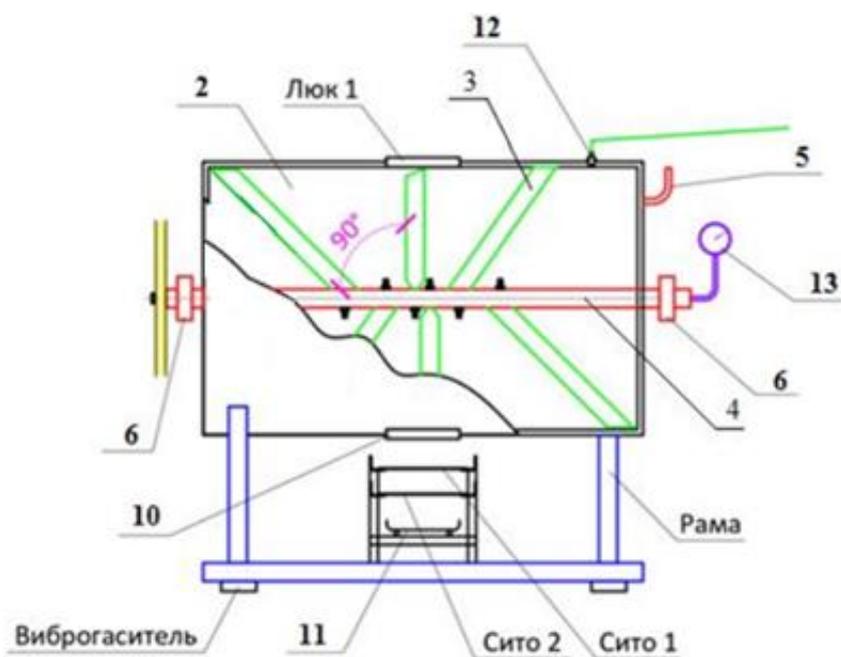
3 ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Для исследования и определения абразивных свойств (дробленного и/или измельченного) угля была разработана установка, весьма подобная невентилируемой мельнице, общий вид которой приведен на рисунке 3.1.



- 1 – внешний цилиндр;
- 2 – бункер хранения исследуемого объема угля;
- 3 – образец из стали, устанавливаемый под разными углами;
- 4 – внутренний цилиндр;
- 5- дымосос для удаления летучих веществ, образующихся при нагреве объема исследуемого угля;
- 6 – жаропрочные подшипники;
- 7- электрический двигатель с редуктором;
- 8 – нагреватель;
- 9 - сита 1 для определения фракции материала;
- 10 – люк загрузки сыпучих материалов;
- 11 – весы для взвешивания образца до и после опыта;
- 12- счётчик оборотов двигателя -тахометр.

а) поперечный разрез установки



б) продольный разрез установки

Рисунок 3.1 - Схема установки для изучения абразивного износа сыпучими материалами [54, с. 361]

Установка, созданная по перечисленным решениям, включала в себя:

- корпус (рама);
- электродвигатель;
- систему ременной передачи вращения от двигателя внутреннему цилиндру;
- емкость для хранения исследуемых объемов угля;
- два коаксиально расположенных цилиндра, при этом наружный цилиндр обеспечивал нагрев исследуемого объема угля до 400°C.
- к внутреннему цилиндру на специальных держателях (располагаемых во внутреннем цилиндре, что уменьшало их участие в нежелательном измельчении исследуемого угля при вращении внутреннего цилиндра), эти держатели допускали крепление образцов под разными углами;
- набор изнашиваемых образцов;
- исследуемые объемы угля;

Общий вид установки для изучения закономерностей абразивного износа изображен на рисунке 3.2.

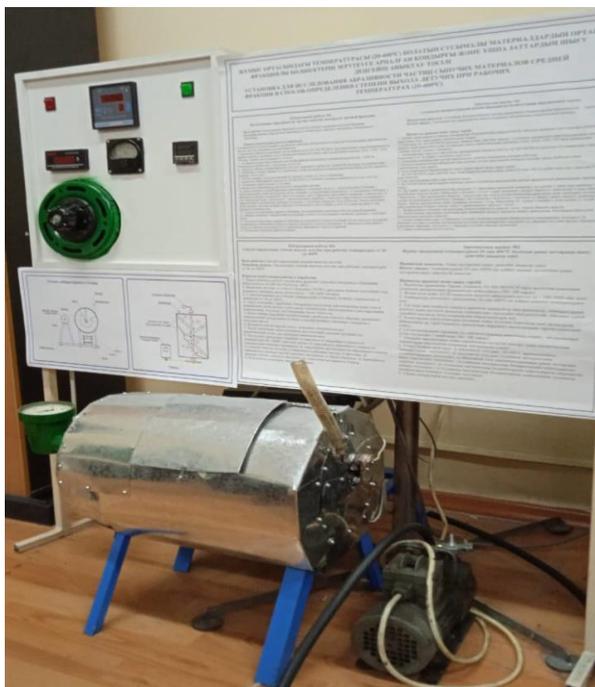


Рисунок 3.2 – Фото экспериментальной установки.

Стенд размещен в лаборатории «Котельные установки» кафедры «Тепловые энергетические установки».

3.1 Контроль параметров процесса абразивного износа угольными частицами

3.1.1 Контроль размера частиц в используемом объеме угля

В процессе экспериментов в установке, созданной для определения интенсивности абразивного износа сыпучих тел, проводился постоянный контроль размера частиц в объеме исследуемого угля при различных скоростях движения образца и разной продолжительности опыта, которые являются параметров абразивного износа. В частности, через определенный промежуток времени, изнашивающий материал выгружается полностью и проверяется сохранение исходного размера частиц исследуемого материала.

Определение этой, своего рода критических, скорости взаимного движения образцов и изнашивающего материала и продолжительности опытов позволило проведение опытов с практически неизменными размерами угольных частиц.

3.1.2 Измерение степени износа образцов

Предварительные опыты показали, что при соблюдении установленной скорости и продолжительности взаимодействия изнашиваемого образца и объема угля (которые практически исключают изменение размера угольных частиц в исследуемом объеме) изменение веса исследуемого образца оказалась весьма малой величиной и потребовало особой тщательности при измерении веса образца до и после опыта. Требуемая точность определения степени износа образца была достигнута использованием аналитических весов с точностью измерения на уровне 0.01 грамм. Интенсивность абразивного износа образцов определяется через измерение весов образца до и после определенного времени взаимодействия (с постоянной продолжительностью).

Созданная установка позволяет проводить опыты с разными материалами при разных размерах, изнашивающих частиц. и на установку получены патенты на полезную модель и на изобретение.

Установка заметно отличается от описанных установок для изучения интенсивности абразивного износа летучей золой. Например, по патенту на изобретение [55] она отличается наличием нагревателей во внешнем цилиндре, которые позволяют проводить исследования при различном уровне выхода летучих. Можно отметить, что при проведении опытов с объемом угля с разным уровнем выхода летучих (что достигается разным уровнем температур нагрева) исследуемый объем приводился к комнатной температуре, что исключало влияние уровня температур исследуемого объема угля на интенсивность износа.

Созданная установка в дальнейшем будет применяться в лабораториях Алматинского Университета Энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева и может быть предложена другим университетам. На этой же установке могут быть исследованы закономерности абразивного износа в процессе дробления и измельчения сыпучих материалов, включая угольные частицы. Установка, при незначительной модернизации, допускает изучение закономерностей гидравлического износа.

3.1.3 Возможность использования экспериментальной установки диссертации в других направлениях исследований

Установка допускает: исследование гидравлического износа элементов ГЭС и процесса газификации, на этой же установке могут быть исследованы закономерности абразивного износа в процессе дробления и измельчения.

Во многих странах активно ведутся исследования по применению в энергетике различных смесей измельченного угля с водой и пластификатором), смесь на основе агропромышленных отходов и другие.

В 2017 году в г. Давос (Швейцария) состоялась конференция на тему «Альтернативные решения сжигания смешанного топлива и связанные с этим климатические проблемы» [56]. В этом направлении д. Финляндия, Швеция, Китай, Индия, США, Канада, добились больших успехов в применении технологий совместного сжигания угля и биомассы,

В период прохождения международной стажировки в Национальном исследовательском Томском политехническом университете по программе «Экологические чистые технологии преобразования энергоносителей» были выполнены разные эксперименты по газификации, пиролизу, смесевых топлив.

Янковский С.А. [57] (к.т.н. профессор кафедры «АТЭС» в Томском политехническом университете) проводит исследования по смешиванию древесины с энергетическими углями (влажность до 30%).

Впервые были проведены экспериментальные исследования смешивания биомассы с углем. Сжигание новых смесевых топлив (на основе угля марок Д, Т, ЗБ, 2Б и углеродно-нейтральной смеси из отходов лесопромышленного производства на энергетическом оборудовании современных ТЭС предусмотрена возможность. Разработана методика оценки эффективности смесевых топлив на основе древесного угля и древесных отходов по трем направлениям: экономичность, эффективность, экологичность. Экспериментально исследовано и доказано, что смешанное топливо позволяет оценивать по использованию в качестве энергетического топлива тепловых электростанций. Общие виды этих установок приведены на фотографиях внизу, рисунок 3.3.



Рисунок 3.3 – Установка Национального исследовательского Томского политехнического университета по программе «Экологические чистые технологии преобразования энергоносителей»

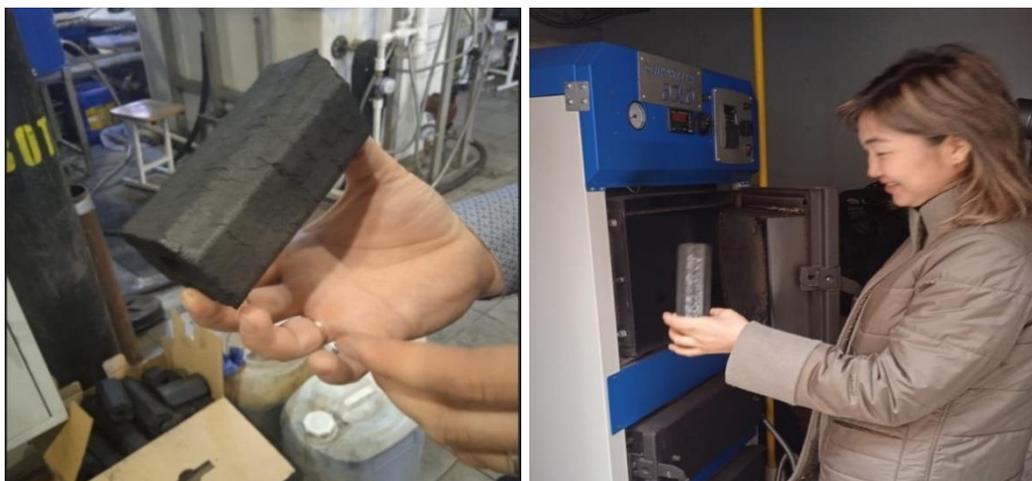


Рисунок 3.4 - Биотопливо Янковского С. А.

При обсуждении установок Томского федерального исследовательского технического университета и Алматинского университета энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева (АУЭС) была рассмотрена возможность проведения аналогичных исследований с казахстанскими углями и т.к. наличие подогревателей на наружном цилиндре допускает изучение процесса газификации угля с различным составом. В частности, на установке, созданной в АУЭС объем изучаемого угля, прогревается одновременно по всему объему, что заметно улучшает условия и время проведения опытов.

Например, на установке, созданной в АУЭС для изучения абразивного износа при различных температурах угольных частиц вполне можно проводить исследование процесса газификации углей и пиллет, также и со смесью органического или биологического топлива [58].

Все предложения и рекомендации изложены в протоколе №1 от 05.05.2022 г. (приложение Г).

Получен акт внедрения в учебный процесс от 11.04.2022 г (Приложение С). Созданная установка используется для проведения лабораторных работ:

- ЛР №1 Исследование абразивности частиц сыпучих материалов;

- ЛР №2 Способ определения степени выхода летучих при рабочих температурах от 20 до 400⁰С [59].

В созданной установке также можно проводить исследования дробления и измельчения сыпучих веществ, таких как, пески, камни разного сорта, руды и др.

3.2 Особенности проведения опытов по исследованию интенсивности абразивного износа угольными частицами

Необходимо отметить, что в опытах с угольными частицами, по существу, так же как это было при исследовании абразивного износа летучей золой:

- определяют интенсивность абразивного износа и пересчетом вычисляют абразивность золы. Однако следует учитывать, что, для некоторых углей, например Екибастузские) абразивность золы меняется от условий термической обработки.

Не вдаваясь в подробности, можно привести пример изменения абразивности золы Екибастузского угля в зависимости от уровня температур в ядре горения. В частности установлено, что при температурах в ядре горения на уровне ниже 1000⁰С абразивность золы Екибастузского угля близка к таковым для многих углей. При температурах в ядре горения на уровне 1400⁰С абразивность золы Екибастузского угля возрастает в несколько раз в связи с разными преобразованиями элементов минеральной части угля.

При дальнейшем повышении температурного уровня в ядре горения абразивность золы снижается до приемлемого уровня в связи с некоторым оплавлением частиц золы. Следует подчеркнуть, что такая зависимость абразивности золы от температурного воздействия встречается относительно редко и в определенной степени представляет собой специфику Екибастузского угля. Повторно следует отметить, что, по существу, большинство используемых методов определения абразивности материала основаны на пересчете величины наблюдаемого абразивного износа.

3.2.1 Выбор размера исследуемых угольных частиц

Опыты проводились с углями месторождений, наиболее часто применяемых на ТЭС, котельных и при индивидуальном отоплении. Таковыми в диссертации считались Екибастузский и Шубаркольский уголь и уголь месторождения Кара жыра

3.2.2 Выбор размера исследуемых угольных частиц

Как уже отмечалось, в процессе перемещения по тракту от разгрузки до ввода измельченного угля в топку, размер частиц меняется в очень широком диапазоне.

Однако в диссертационном исследовании был выбран размер угольных частиц, в пределах 3000, 2000 и 1000 мкм близкие к размеру частиц после процесса дробления. Для этого, намечаемый к исследованию объем угля подвергался предварительному дроблению. В определенной степени исследования с этими размерами можно считать началом будущих исследований и в последующем на этой установке по разработанной методике будет исследована интенсивность абразивного износа угольными частицами соответствующим глубокому измельчения например с размерами 100, 50 и даже 25 мкм. Отдельно следует отметить некоторую особенность определения исследованных размеров угольных частиц. В частности, например размер 3000 мкм означал, что размер частицы меньше 4000 мкм (т.к. частицы проходили через сито с этим размером сита) и больше 3000 мкм (т.к. частицы с размерами меньше этого размера просыпались через сито с этим размером). Также определялись размеры частиц 2000 и 1000 мкм. Для контроля размера угольных частиц после дробления засыпались в вибрационный аппарат с требуемыми размерами сит. Многократное определение размеров частиц показало, что доля частиц с размерами с отклонениями от заданного размера не превышает 3–5 процентов (по весу).

Анализируемая проба отбиралась из исследуемого объема угольных частиц, в соответствии с правилами отбора проб. При этом проводился гранулометрический анализ всего объема использованного угля.

3.2.3 Выбор исследуемого объема угля

Объем сыпучего материала, как уже отмечалось был подобран таким образом, чтобы испытуемый образец был полностью погружен в изнашиваемый материал и при котором пуск двигателя производится без дополнительных затруднений, Использованный объем частиц угля, соответствующий этому требованию занял пространство до 45 % (0,45) от диаметра внешнего цилиндра

3.2.4 Выбор параметров изнашиваемого образца

Длина исследуемого образца выбиралась из условия достаточного погружения в изнашивающий объем угля. Это означало, что длина образца будет близка к степени полноты заполнения объема установки исследуемым углем и что соответственно составила примерно 0.45 диаметр наружного цилиндра. Очевидно, что скорость взаимодействия с угольными частицами изменяется по длине образца т.к. линейная скорость движения разных точек образца при равной частоте вращения внутреннего цилиндра будет определяться произведением число оборотов внутреннего цилиндра на расстояние от центра до рассматриваемой точки, что означает, что разные участки образца движутся с разной скоростью. В связи с этим, в качестве расчетной скорости взаимодействия, принималась скорость движения конца образца, как обладающего наибольшей линейной скоростью при заданном числе оборотов внутреннего цилиндра. Материал образца выбирался из условия достижения измеряемого изменения веса образца при сохранении приемлемой стойкости к изгибающим усилиям, поэтому была выбрана сталь 20. Толщина образца выбиралась из двух противоположных условий, во - первых, она должно обеспечивать приемлемое сохранение установленного

положения и свою форму при взаимодействии с объемом угля с заметной плотностью, во вторых, желательно иметь как можно меньший исходный вес т.к. величина износа определяется взвешиванием и поэтому при большой толщине это будет малая разница больших числе. В результате оценки этих двух факторов толщина плоского образца была выбрана равной 2 мм.

3.2.5 Выбор уровня температуры для исследуемого объема угля

Пределы изменения температуры исследуемых объемов угля в опытах, особенно с частичным извлечением летучих, выбрались близкими к температуре в мельничном объеме при измельчении разных углей - от 50°C до 300°C.

3.2.6 Выбор уровня влажности исследуемого объема угля

Уровень влажности исследуемого объема угля выбирался из условия исключения «замазывания» образца влажным углем.

3.3 Вывод по третьему разделу

Необходимо отметить, что в опытах, по существу, так же как это было при исследовании абразивного износа летучей золой, определяют интенсивность абразивного износа и абразивность угольной частицы вычисляют пересчетом. По всей вероятности, эту характеристику – абразивность, следует определять аналогично определению размольной способности – относительно эталонного материала. Кроме того, для некоторых углей (например Екибастузские) абразивность золы меняется от условий термической обработки. в связи с разными преобразованиями элементов минеральной части угля

Не вдаваясь в подробности, можно привести пример изменения абразивности золы Екибастузского угля в зависимости от уровня температур в ядре горения.

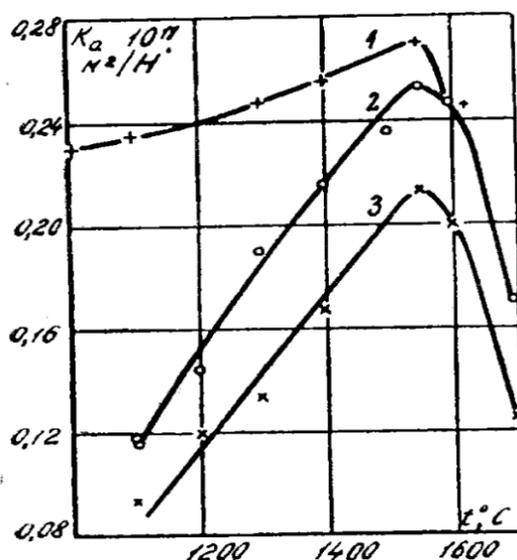


Рисунок 3.5 – Зависимость абразивности зола Екибастузского угля от уровня термической обработки [11, с. 84]

В частности установлено, что при температурах в ядре горения на уровне ниже 1000°C абразивность зола Екибастузского угля близка к таковым для многих углей. При температурах в ядре горения на уровне 1400°C абразивность зола Екибастузского угля возрастает в несколько раз из-за преобразования минеральной части. При дальнейшем повышении температурного уровня в ядре горения абразивность зола снижается до приемлемого уровня в связи с плавлением частиц. Следует подчеркнуть, что такая зависимость абразивности зола от температурного воздействия встречается относительно редко и в определенной степени представляет собой специфику Екибастузского угля. Повторно следует отметить, что, по существу, большинство используемых методов определения абразивности материала основаны на пересчете величины наблюдаемого абразивного износа, что и означает, по сути, означает определение относительной абразивности.

Достоверное и представительное определение перечисленных показателей угля конкретного месторождения определяет надежную работу оборудования котельных установок ТЭС.

Как уже отмечалось достоверность полученных результатов определяется уровнем организации исследования. В связи с этим были выполнены экспериментальное обоснование перечисленных решений по организации исследования процесса абразивного износа угольными частицами (в будущем и другими абразивами) и результаты которых приведены в описании.

4 МЕТОДИКА КОНТРОЛЯ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА

Основное требование к проведению описываемого исследования - разработать методику по обеспечению сохранения неизменным размера частиц угля в процессе проведения опытов, т. к. уголь, при взаимодействии между собой или с образцом, неизбежно подвергается определенному измельчению, что могло особенно проявиться в опытах с определением влияния скорости и продолжительности проведения опытов на интенсивность абразивного износа [60].

В процессе проведения опытов с движением без воздушного потока и намечалось выполнить исследование интенсивности абразивного износа:

- при разных температурах,
- твердости изнашиваемого материала,
- при разной скорости в определенное время,
- при разной влажности частиц на интенсивность абразивного износа
- при разном уровне выхода летучих
- при разных углах взаимодействия угля с образцами
- при разных формах изнашиваемого образца

Контроль размера угольных частиц - определялся рассевом до и после опытов исследуемого объема угля на комплексе сит. Размер изнашивающих угольных частиц задавался на уровне, характерном для процесса дробления на ТЭС и на котельных.

Уровень заполнения объема установки угольными частицами – определялся по соотношению объема установки и изнашивающего объема угля и выбирался из условия обеспечения полного погружения изнашиваемого образца в изнашивающий объем угля и сохранения допустимых величинах пускового тока двигателя вращения внутреннего цилиндра

Размер изнашиваемого образца – подбирался из условия обеспечения достаточного погружения в изнашивающий объем угля (на уровне 90–95 процентов от диаметра наружного цилиндра).

Материал изнашиваемого образца – подбирался из условия достижения уровня величины износа, допускающего определение изменения веса образца после опытов за время проведения опыта

Угол установки изнашиваемого образца – определялся прямыми измерениями.

Степень износа образцов – определялась взвешиванием изнашиваемого образца до и после опытов на соответствующих весах в сопоставимых условиях

Уровень выхода летучих определялся по изменению веса изнашивающего объема до и после нагрева конкретной температуры. Однако при этом опыты проводились с объемом угля при равных температурах (комнатных). Температура измерялась термопарой и тепловизором.

При проведении опытов с **разной влажностью** равный исследуемый объем изнашивающего угля обрабатывался с равным объемом воды и выдерживался в течение суток.

В результате такого анализа:

- в качестве изнашивающего вещества были выбраны частицы исследуемых углей трех основных месторождений Казахстана. Так как, все оборудование ТЭС и котла контактирующие с углем, подвергается абразивному износу частицами разных размеров (от рядового при разгрузке до измельченного угля (в мельнице и после мельниц). Было принято решение о проведении исследований по изучению абразивного износа поверхностей угольными частицами с размерами, близкими к дробленному углю с размерами от 3000 мкм до 1000 мкм

- установка представляла собой два коаксиально расположенных цилиндра, в пространство между которыми засыпался исследуемый объем угольных частиц

- взаимодействие обеспечивалось движением образца в объеме угольных частиц,

- скорость движения образца определялась частотой вращения внутреннего цилиндра.

- исследуемые образцы (один или несколько, в том числе, и с разными формами – плоский образец или труба) закреплялись на внутреннем цилиндре

- изменение размера угольных частиц достигалось засыпанием частиц разного размера в объем установки.

Известно, что угольные частицы, в отличие от летучей золы, могут менять свои абразивные свойства при различных температурах и при различной влажности, вплоть до того, что при большой влажности угля происходит «замазывание» мелющих элементов. Кроме того, при нагреве из угольных частиц неизбежно выделяются летучие вещества, что может повлиять на абразивные способности угля т.к. уголь как бы становится коксовым остатком. на следующих рисунках показано оборудование ТЭС контактирующее с поступающим и обрабатываемым углем.

В рисунках 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 показано контактирующее устройство ТЭЦ-3 АО «АлЭС»).



Рисунок 4.1- Шаровая мельница

Используется для окончательного измельчения угля, до состояния готовой угольной пыли.



Рисунок 4.2 – Циклон. Отделитель угольных частиц для шаровой мельницы

Угольная пыль вентилятором вдувается в циклон из сепаратора, далее в бункер угольной пыли, а затем поступает к питателям горелок.



Рисунок 4.3 - Бункер сырого угля мельницы

Предназначен для подачи дробленного сырого угля в мельницу.



Рисунок 4.4 - Отчетливо виден абразивный износ лопаток завихрителя в канале аэросмеси пылеугольной горелки [61]

Обеспечение ТЭС требуемым объемом угля включает в себя несколько этапов от вагона до топливной горелки:

- разгрузка и сбор твердого топлива на электростанцию;
- дробление частей топлива до известной фракции;
- разгрузка топлива и транспортировка до котла;
- сушка и измельчение в полученной фракции;
- поставка измельченной и осушенной топливной пыли в топку котла

[62].

4.1 Методические особенности проведенного исследования

В диссертационной работе был выбран вариант проведения исследований с размерами угольных частиц 1000, 2000, 3000 мкм (характерных для дробленого угля) для трех основных угольных месторождений: Шубаркольского - с самым лучшим качеством (зольность – на уровне 10 процентов), Екибастузского - с самым низким качеством (зольность – на уровне 45 процентов) и Кара жыра - с средним качеством (зольность на уровне менее 30 процентов).

Особенность методики, использованной в диссертационном исследовании, это проведение опытов с угольными частицами без несущего

воздушного потока (постоянно присутствующего при исследованиях абразивного износа летучей золой). На созданной установке, было намечено проведение исследований по разработанным методикам по определению влияния на абразивный износ:

- размера частиц;
- скорости взаимодействия изнашиваемого образца с угольными частицами;
- температуры и влажности изнашивающих угольных частиц;
- степени выхода летучих на абразивность угольных частиц;
- влияние формы изнашиваемого образца.

4.2 Разработка метода контроля размера угольных частиц

В исследованном случае образец движется в объеме исследуемого угля с заданными параметрами угольных частиц. Как уже неоднократно отмечалось, в процессе исследования абразивного износа очень важно обеспечение сохранности основных параметров, в частности, чтобы размер частиц, которые изнашивают образцы, не менялись в процессе определения абразивного износа при достаточном изменении значений исследуемых параметров.

Сохранение размера изнашивающих угольных частиц во время опытов с разной скоростью и с разным временем взаимодействия с образцом контролировалось по остатку на ситах с размерами решеток размеров 1000, 2000 и 3000 мкм. Ограничения, связанные с критической скоростью и с критической продолжительностью привели к необходимости проведения опытов при степени износа образца, на уровне, пригодном для анализа интенсивности абразивного износа угольными частицами (также своего рода критическая величина износа) при изменении параметров процесса.

Для оценки интенсивности этого процесса были проведены опыты с разной скоростью вращения изнашиваемого образца с разными размерами угольных частиц для трех углей. В результате было установлено, что при

скорости взаимодействия образца и угольных частиц на уровне 2.30 м/с наблюдается сохранение размера угольных частиц (изменение размера не превышает 5 процентов от исходного размера).

Опыты с износом образцов различных форм проводились при полностью идентичных условиях.

Опыты, проведенные с разной скоростью взаимодействия абразива и изнашиваемого образца показали заметную почти линейное уменьшение по мере роста скорости. Эта зависимость изменения размера угольных частиц от скорости практически сохраняется для всех трех исследованных исходных размеров для всех трех углей (рисунки 4.6, 4.7, 4.8 а, б, в).

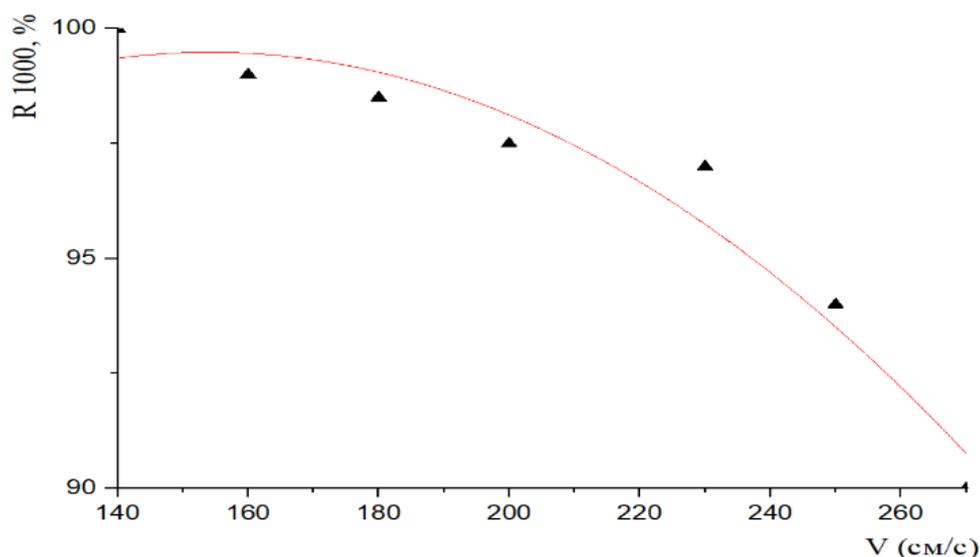


Рисунок 4.5 а) - Изменение исходного размера (1000 мкм) для частиц Екибастузского угля от скорости

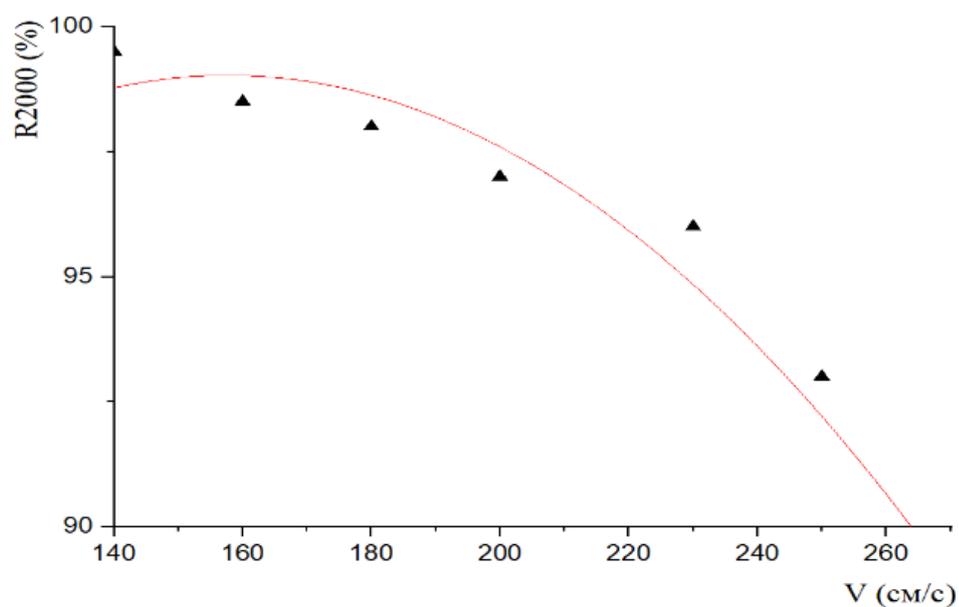


Рисунок 4.5 б) - Изменение исходного размера 2000 мкм для частиц Екибастузского угля от скорости

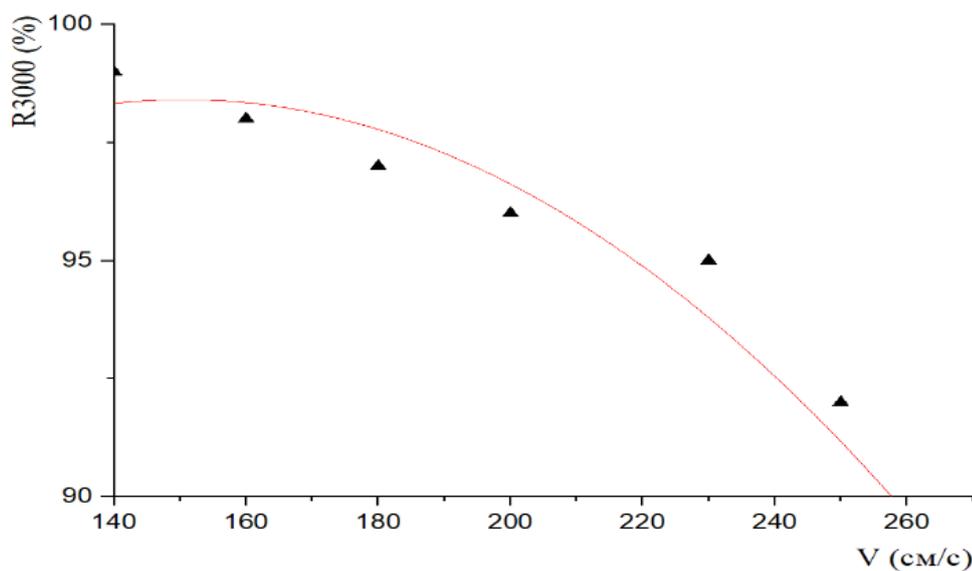


Рисунок 4.5 с) - Изменение исходного размера 3000 мкм частицы Екибастузского угля от скорости

Как видно из этих данных после скорости 230 см/с наблюдается существенное изменение размера угольных частиц, в связи с этим при

дальнейших исследованиях придерживались скорости 230 см/с. Аналогичные результаты были получены в опытах с другими углями смотри рисунки 4.6, 4.7.

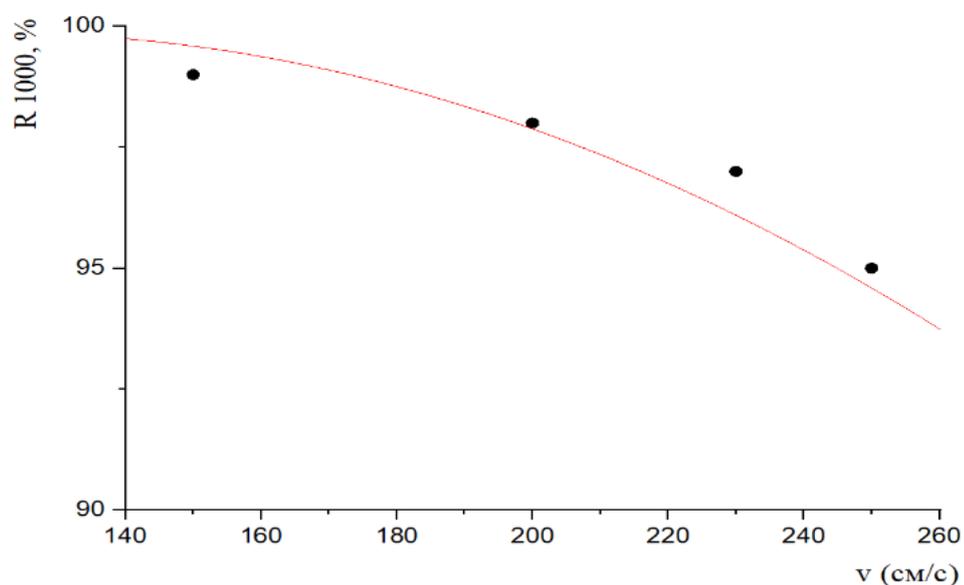


Рисунок 4.6 а) - Изменение исходного размера 1000 мкм частицы Шубаркольского угля от скорости

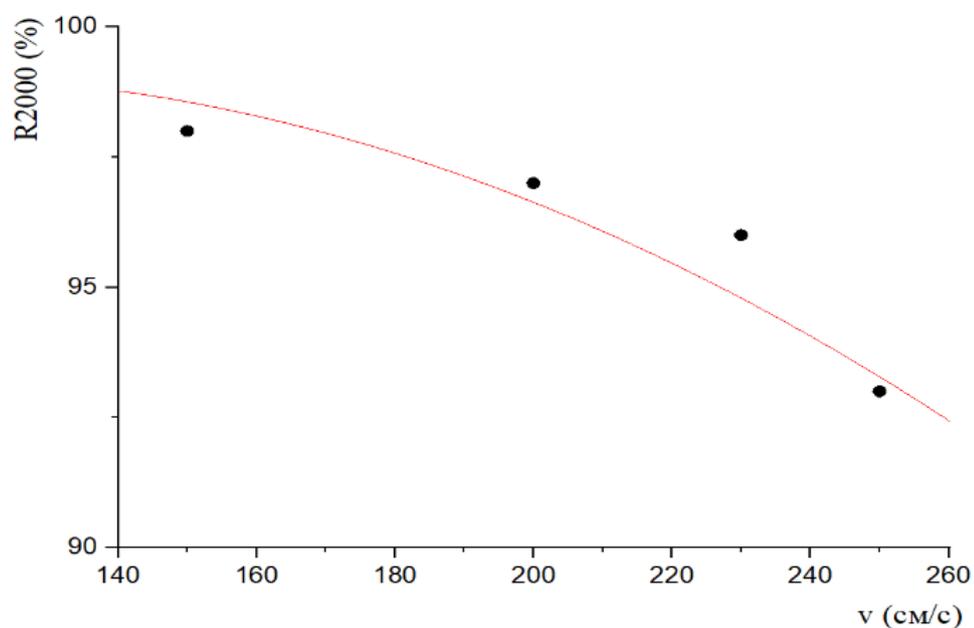


Рисунок 4.6 б) - Изменение исходного размера 2000 мкм частицы Шубаркольского угля от скорости

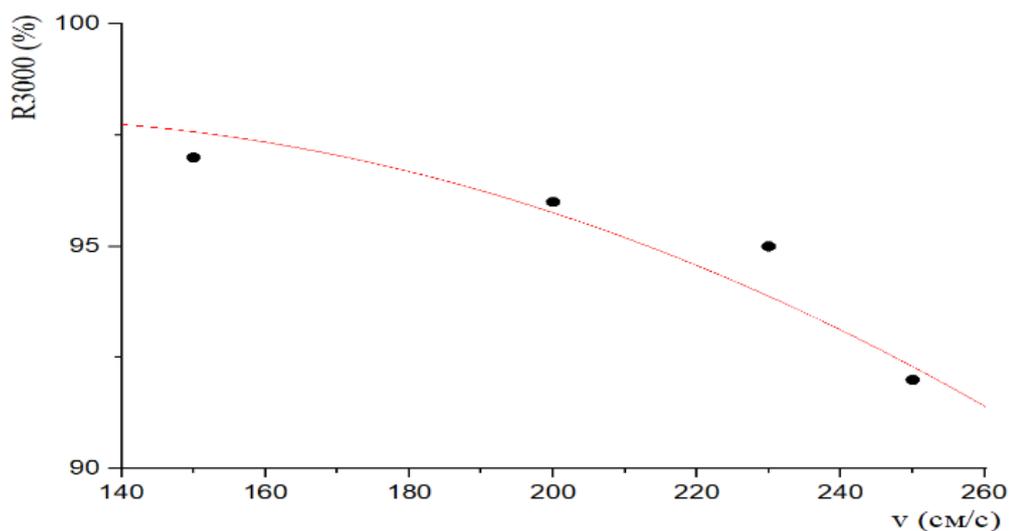


Рисунок 4.6 с) - Изменение исходного размера 3000 мкм частицы Шубаркольского угля от скорости

Исследование изменения размеров угольных частиц в зависимости от продолжительности взаимодействия образца и угольных частиц показало, что (при скорости 230 см/с) при продолжительности взаимодействия менее 7 минут наблюдается сохранение размера угольных частиц (изменение размера не превышает 5 процентов от исходного размера) (рисунки 4.8, 4.9, 4.10).

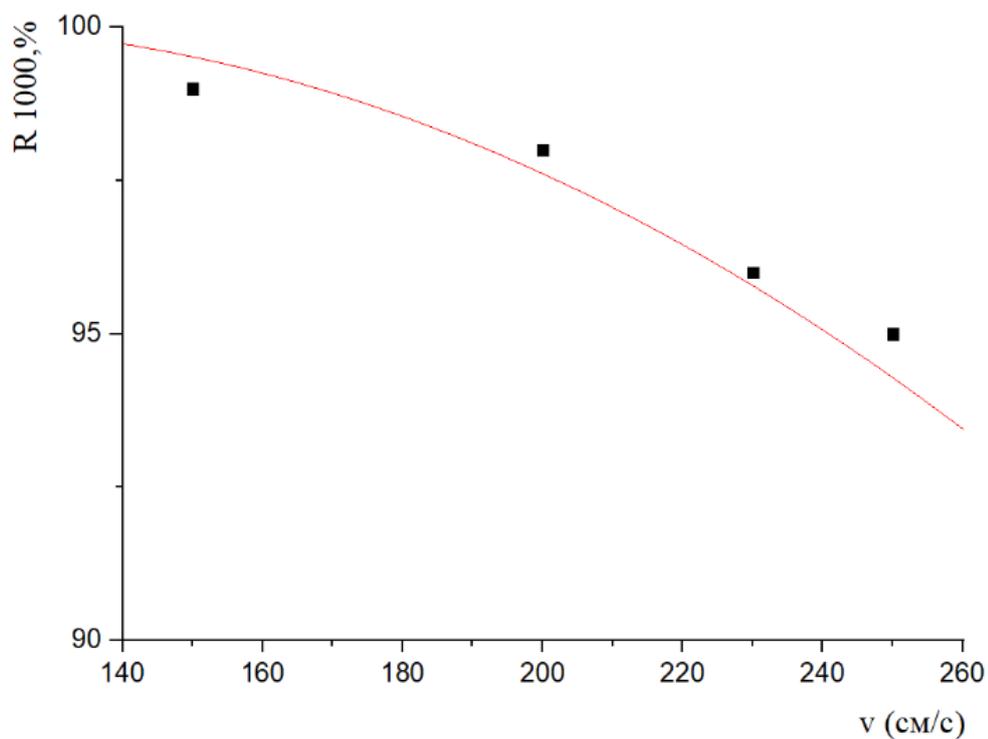


Рисунок 4.7 а) изменение размера угля Кара жыра, 1000 мкм

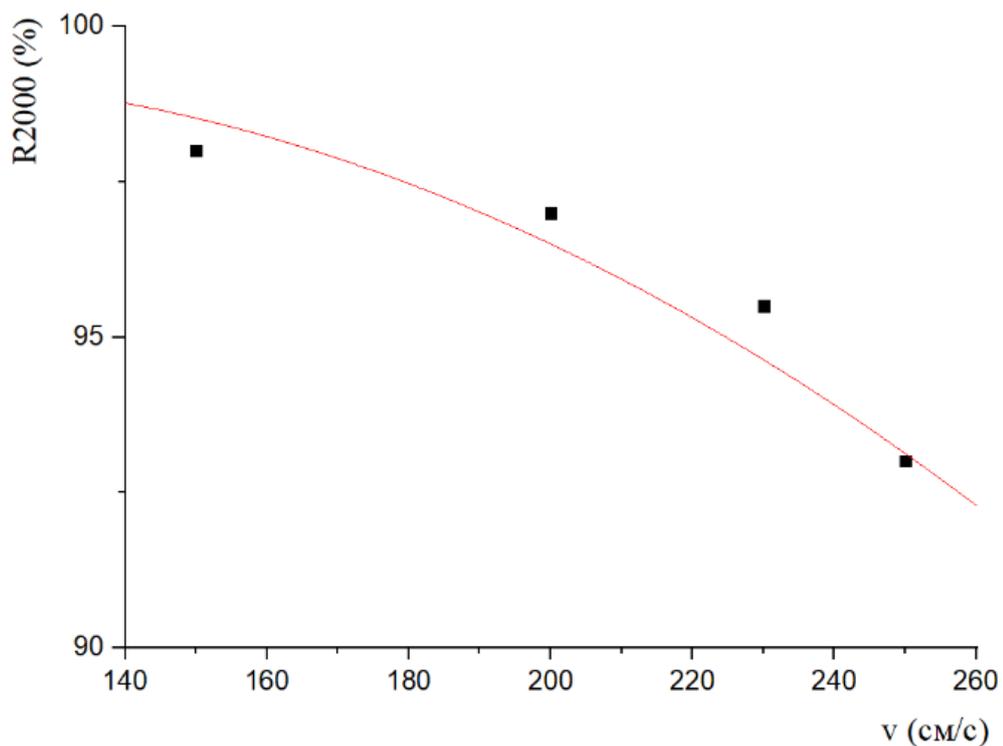


Рисунок 4.7 в) - Изменение исходного размера 2000 мкм частицы угля Кара жыра угля от скорости

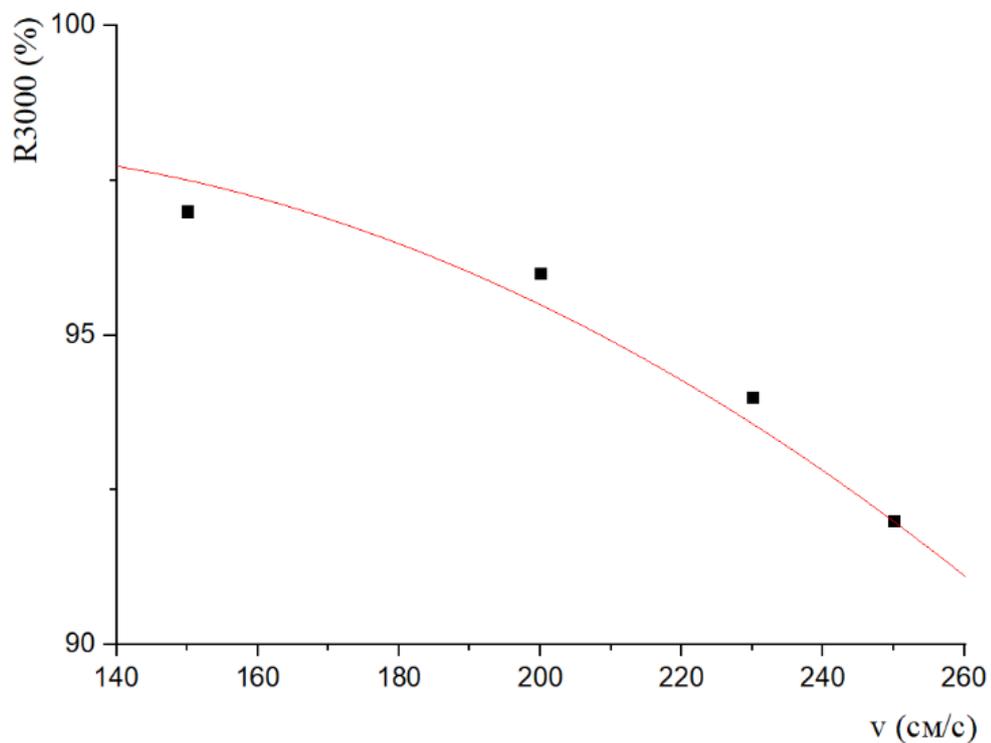


Рисунок 4.7 с) - Изменение исходного размера 3000 мкм частицы угля Кара жыра от скорости

Другим параметром, оказывающим на изменение размера частиц в процессе взаимодействия изнашиваемого образца с абразивом, очевидно является продолжительность проведения опыта. Результаты опытов с разной продолжительностью для трех размеров частиц для углей трех месторождений приведены на рисунках 4.8, 4.9, и 4.10

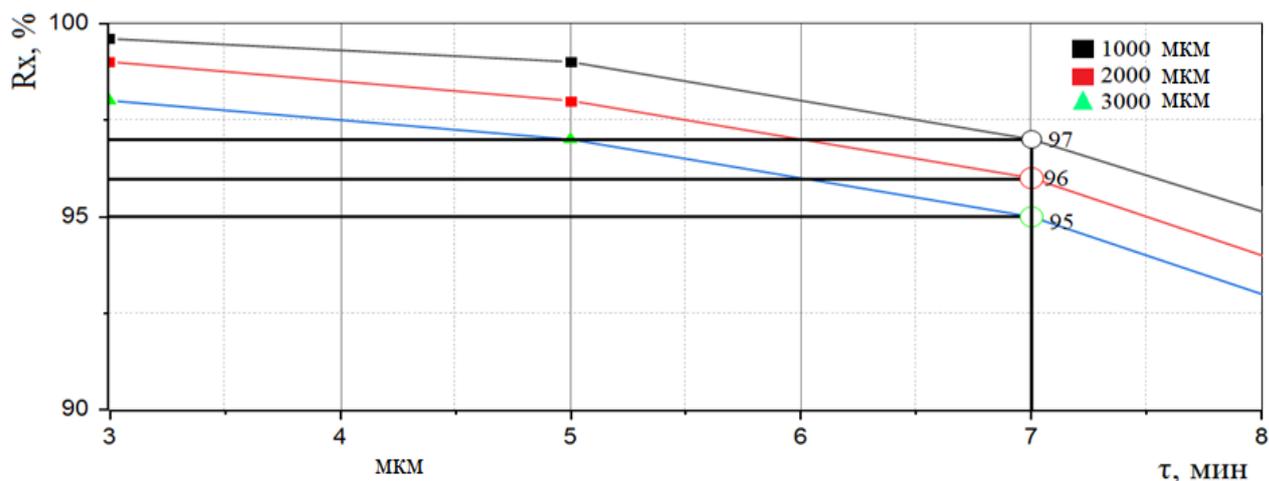


Рисунок 4.8 –Изменение трех исходных размеров угольной частицы в зависимости от времени взаимодействия изнашивающего объема угля с образцом (Екибастузский)

Полученные результаты показали, что в зависимости от продолжительности опытов наблюдается изменение исходного размера. При этом формы зависимости и интенсивность изменения размера для всех трех углей весьма похожи. Для всех трех размеров всех трех углей изменение исходного размера при продолжительности опыта не более 7 минут не превышает 5 процентов от исходного размера.

Результаты опытов с разной скоростью и с разной продолжительностью для трех размеров частиц для трех углей позволили определить их допустимые значения 2.3 м/с и 7 минут (420 секунд), которые сохранялись неизменными при проведении исследования влияния других параметров на интенсивность абразивного износа угольными частицами.

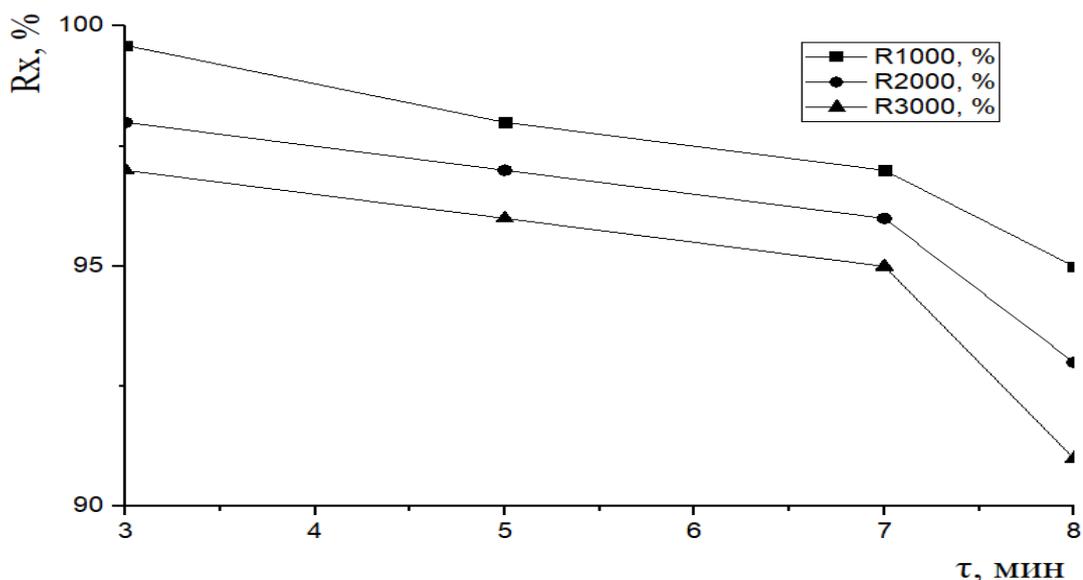


Рисунок 4.9 –Изменение трех исходных размеров угольной частицы в зависимости от времени взаимодействия изнашивающего объема угля с образцом (Шубаркольский)

Полученные результаты приведены на рисунке 3.6, где приведены данные по Шубаркольскому углю для трех размеров угольных частиц.

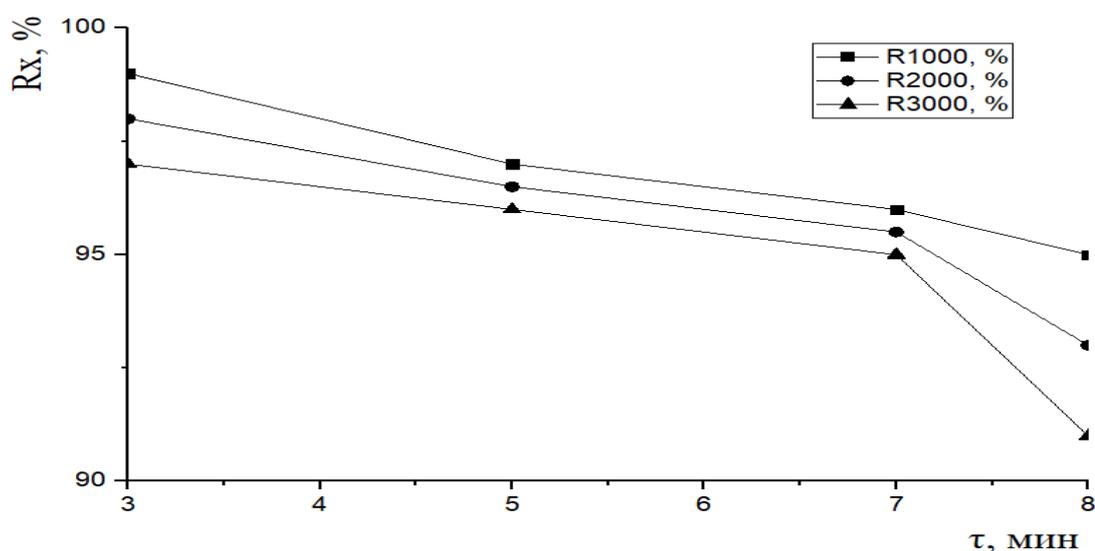


Рисунок 4.10 – Изменение трех исходных размеров угольных частиц в зависимости от времени взаимодействия изнашивающего объема угля с образцом (Кара жыра)

Эти опыты позволили сформулировать условия проведения исследования абразивного износа частицами угля трех месторождений с размерами 1000, 2000 и 3000 мкм, которые сводятся к следующим:

- опыты проводятся с частицами углей трех размеров для трех основных месторождений Казахстана;
- опыты проводятся со скоростью взаимодействия образца и угольных частиц не выше 2,30м/с;
- продолжительность опытов не превышает 7 минут (420 секунд);
- изнашиваемые образцы изготовлены из стали 20 с длиной 60 мм и с толщиной 2 мм .

На созданной установке, по разработанным методикам было намечено проведение исследований по определению влияния на интенсивность абразивного износа:

- размера частиц (описаны ранее);
- скорости движения образца (описаны ранее);
- угла взаимодействия изнашиваемого образца с угольными частицами;
- влажности изнашивающих угольных частиц;
- степени выхода летучих угольных частиц;
- влияние формы изнашиваемого образца.

Это методика дает возможность провести более достоверное исследование интенсивности абразивного износа при изменениях перечисленных параметров. Также очевидно, что скорость взаимодействия изменяется по длине образца т.к. линейная скорость движения образца определяется произведением число оборотов внутреннего цилиндра на длину образца, что означает, что разные участки образца движутся с разной скоростью. В связи с этим, в качестве расчетной скорости принималась скорость движения конца образца, как обладающего наибольшей линейной

скоростью при заданном числе оборотов внутреннего цилиндра. Изменение размера угольных частиц определялось путем анализа на виброаппарате ситового анализа пробы, отбираемой с соблюдением правил отбора. Изменение веса образца определялось по результатам и многократного взвешивания до и после опыта.

$$\Delta m = m_1 - m_2, \quad (4.1)$$

где m_1 – масса образца до опыта, г,

m_2 – масса образца после опыта, г.

5 ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ АБРАЗИВНОГО ИЗНОСА ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА

На созданной экспериментальной установке можно проводить опыты с разными углями разных фракций при изменении многих параметров процесса и изнашиваемого угля. Как отмечалось в предшествующей главе, эксперименты проведены с углями 3 разных месторождений.

5.1 Влияние скорости взаимодействия образца и исследуемого объема угля на интенсивность износа угольными частицами

Опыты с разной скоростью проводились при равной продолжительности опытов с одним и тем же плоским образцом. Сложившийся размер при разной скорости взаимодействия определялся на виброситах. Изменение веса образца определялось после каждой скорости для каждого размера для каждого угля по результатам многократного взвешивания до и после опыта. Скорость движения образца определялась по обороту внутреннего цилиндра умножением числа оборотов на длину образца. Эти результаты частично обсуждались при определении допустимой скорости, при которой обеспечивалось приемлемое сохранение размера изнашивающих угольных частиц. На рисунках 5.1, 5.2, и 5.3 приведено изменение массы образца при разных скоростях его взаимодействия с частицами разных углей

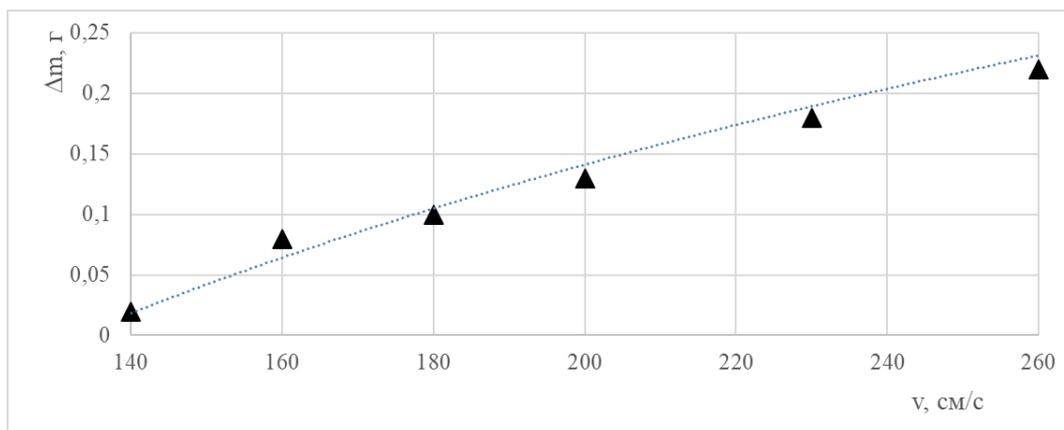


Рисунок 5.1 - Зависимости интенсивности абразивного износа угольными частицами от скорости взаимодействия изнашиваемого образца с угольными частицами (Екибастузский)

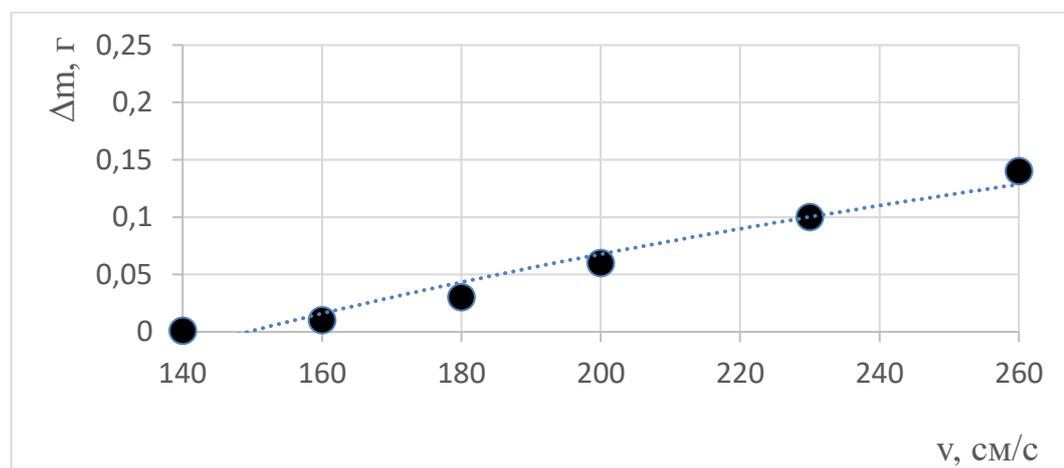


Рисунок 5.2 - Зависимости интенсивности абразивного износа угольными частицами от скорости взаимодействия изнашиваемого образца с угольными частицами (Шубаркольский)

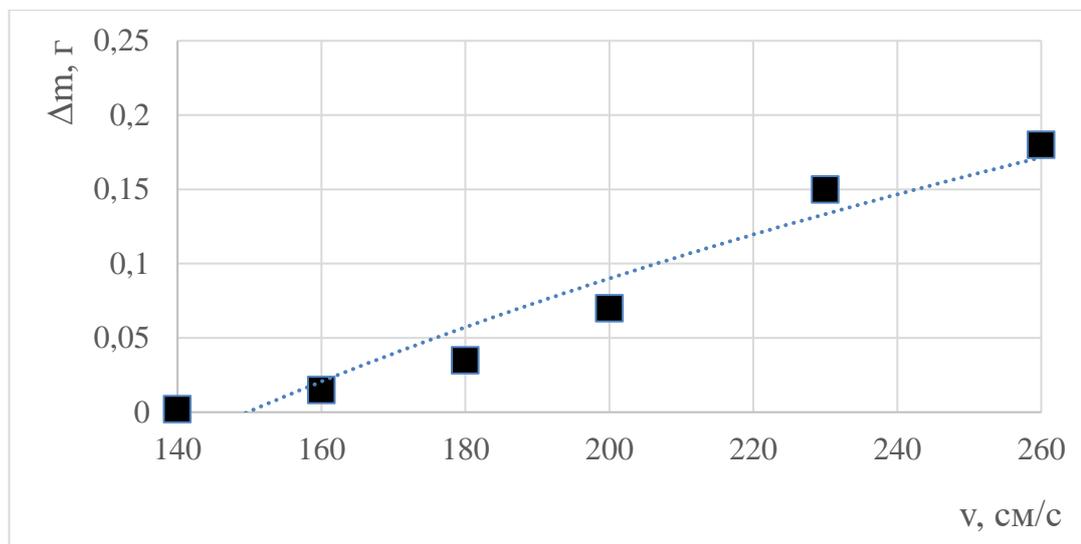


Рисунок 5.3 - Зависимости интенсивности абразивного износа угольными частицами от скорости взаимодействия изнашиваемого образца с угольными частицами (Кара жыра)

Как видно из этих рисунков, в исследованном диапазоне изменения скорости взаимодействия, интенсивность абразивного износа (изменение массы образца) частицами углей различных месторождений возрастает практически линейно. Однако сами величины изменения веса образца в исследованном диапазоне изменения скорости различаются: например, для частиц Екибастузского угля это составляет примерно 0.20, для частиц угля месторождения Кара жыра - 0.17 и 0.14 для частиц Шубаркольского угля. Из этих результатов можно повторно сделать, отмечавшийся ранее вывод, что одним из важнейших условий проведения опытов по изучению абразивного износа является точное соблюдение заданной скорости

5.2. Влияние продолжительности опытов на интенсивность износа угольных частиц

Опыты с разной продолжительностью контакта исследуемого объема угля (трех размеров всех трех месторождений) с плоским образцом проводились при равном числе оборотов внутреннего цилиндра (равной скорости взаимодействия образца с исследуемым объемом). Определение

изменения веса образца после каждого опыта проводилось на аналитических весах с требуемой для измерения такой малой разности веса при весе образца, многократно превосходящем изменение веса. Влияние продолжительности опытов на изменение веса образца для разных углей приведены на рисунках 5.4, 5.5, 5.6.

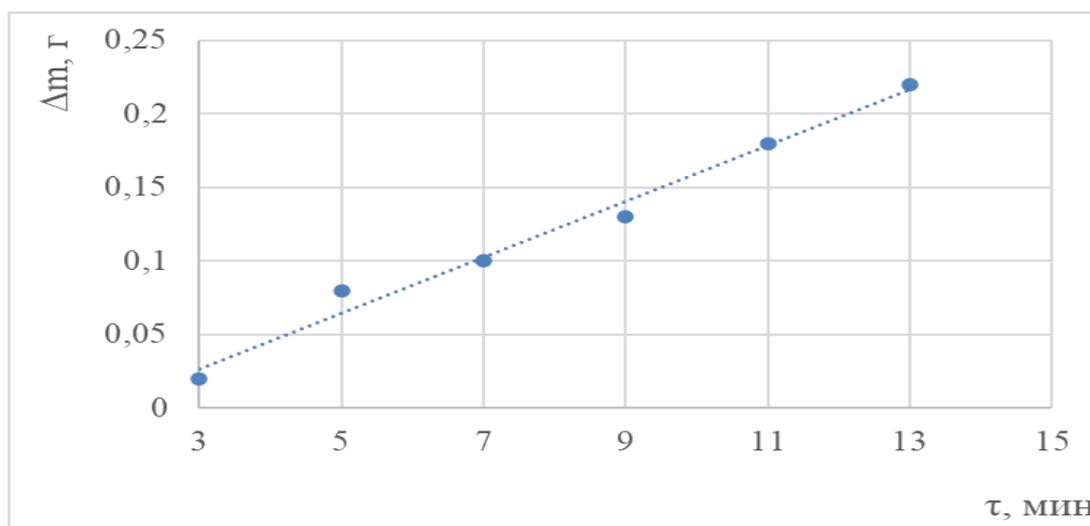


Рисунок 5.4 - Зависимости интенсивности абразивного износа угольными частицами от времени продолжительности опыта (Екибастузский)

Результаты этих исследований показывают, что изменение интенсивности абразивного износа от продолжительности опыта в значительной степени подобна зависимости от скорости.

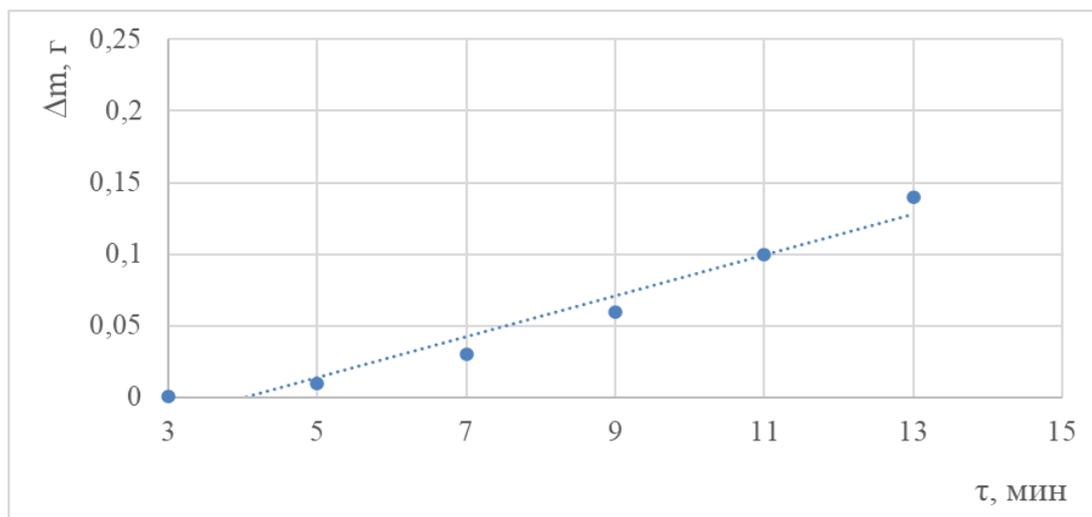


Рисунок 5.5- Зависимости интенсивности абразивного износа угольными частицами: от времени продолжительности опыта (Шубаркольский)

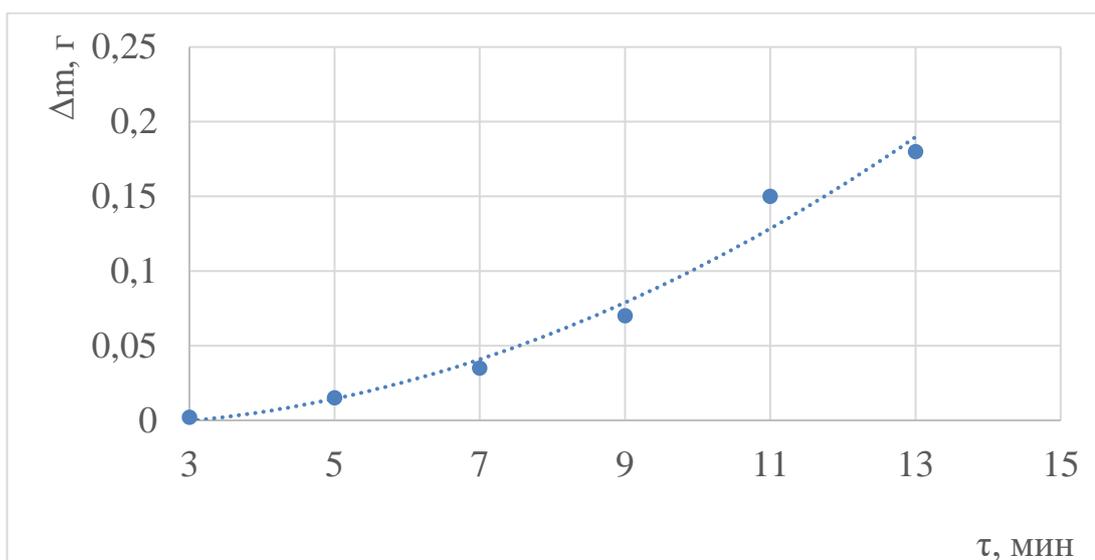


Рисунок 5.6 - Зависимости интенсивности абразивного износа угольными частицами: от времени продолжительности опыта (Кара жыра)

Сравнение результатов из разных рисунков показывает, что вид зависимости интенсивности износа (в виде изменения веса) для всех трех углей имеет весьма схожий вид. Однако, так же как это было в случае изменения интенсивности абразивного износа при разных скоростях, сами величины изменения интенсивности несколько различаются. Так же как при

изменении скорости наибольший износ наблюдается при взаимодействии образца с частицами Екибастузского угля. Более того из сравнения данных из рисунков 5.4, 5.5 и 5.6 при изменении времени взаимодействия абразива и образца видно, что при износе Екибастузским углем некоторый рост интенсивности абразивного износа наблюдается несколько раньше. Однако как было показано ранее, это различие в интенсивности износа не проявляется в изменении размера частиц Екибастузского угля. Также повторно можно отметить, что заметный рост интенсивности износа наблюдается при превышении 7 минут (420 секунд) взаимодействия абразива и образца. При продолжительности опытов менее 7 минут уменьшение исходного размера угольных частиц не превышает 5 процентов от всех трех исходных размеров всех трех исследованных углей. В связи с этим при дальнейших исследованиях влияния других параметров процесса абразивного износа опыты проводились не дольше этой продолжительности. При дальнейшем росте продолжительности опытов линейная зависимость изменения размера несколько изменяется.

5.3 Определение влияния влажности угольных частиц на интенсивность абразивного износа

Опыты с разным уровнем влажности объема угля проводились только с Екибастузским углем. Обработанный объем угольных частиц помещался в герметичный контейнер на 1 сутки, что обеспечивало равномерную пропитку исследуемого объема. Изменение уровня влажности объема угля, достигалось обработкой этого объема тремя конкретными (разными) объемами воды с последующим выдерживанием герметичном контейнере в течение 24 часов. Это в определенной степени обеспечивало примерно равное увлажнение используемого объема угля. Для исключения влияния исходной влажности используемого объема угля этот объем угля подвергался предварительной сушке в сушильном шкафу 6 часов при температуре 105-120⁰С. Необходимо подчеркнуть, что под увлажнением понимается

влажность достигаемая после обработки объема угля определенным объемом воды. Поступление увлажненного объема угля в пространство относительно герметичного объема установки в определённой степени обеспечивало сохранение неизменной исходную влажность используемого объема угля.

Общий вид прибора для определения влажности исследуемого объема угля показан на рисунке 5.7



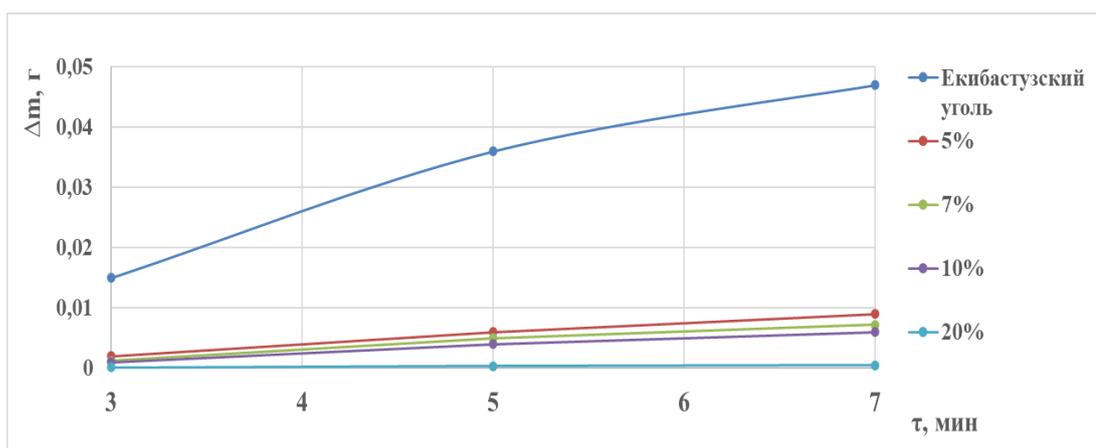
Рисунок 5.7 – Прибор для определения влажности

В начале исследования была определена влажность объемов разных углей в условиях хранения в лаборатории.

Таблица 5.1 – Лабораторная влажность исследуемого объема угля после сушки

№	Исследованный уголь	W ^p , %
1	Шубаркольский	15,0
2	Кара жыра	14,0
3	Екибастузский	6,0

Заметное различие в уровне влажности Шубаркольского угля и угля месторождения Кара жыра, по всей вероятности, обуславливается уровнем содержания внутренней влаги, которое не удаляется при традиционной сушке. Исследования по выявлению влияния уровня влажности угольных частиц на абразивный износ проводились при влажности как уже отмечалось только Екибастузского угля для трех размеров угольных частиц топлива 5, 7, 10% и 20 процентов. Эти результаты приведены на рисунке 5.8, из этих данных видно, что для всех трех размеров угольных частиц зависимость интенсивности износа от влажности исследуемого объема угля имеет весьма схожий вид - по мере увеличения уровня влажности интенсивность абразивного износа уменьшается.



- верхние точки лабораторная влажность Екибастузского угля с размером 3000 мкм;

- остальные точки относятся к увлажнению лабораторной влажности Екибастузского угля с размером 3000 мкм.

Рисунок 5.8 - Определение предельной влажности при измельчении Екибастузского угля

Эти данные показали, что зависимость интенсивности абразивного износа угольными частицами с различной влажностью при исследованных значениях влажности имеет практически линейный вид. При влажности 20%

происходит «замазывание», образца влажным углем и абразивный износ снижается до минимума, уголь становится как консистентной жидкостью и можно сказать, что 20-процентная влажность угля является предельной.

При дальнейшем увеличении содержания исследуемый объем угля «переходит» в смесь угля и воды [64], закономерности абразивного износа которого могут заметно отличаться от обычного угля с традиционным значением влажности.

Эти результаты приводят к не очень привычному результату для снижения интенсивности абразивного износа можно путем увлажнения Екибастузского угля поступающего в топливно-транспортный цех. Можно повторно отметить, что опыты проводились с тремя размерами угольных частиц с соблюдением условий обеспечения слабого изменения размера частиц в процессе опытов, контроль размера частиц проводился на основе ситового анализа пробы, Можно повторно отметить, что исследуемые объемы угольных частиц предварительно высушивались в специальной печи до определенного уровня и исследуемая влажность достигалась объемом воды, поступающей на исследуемый объем угольных частиц и хранением в замкнутом контейнере 24 часа, что обеспечивало равномерность увлажнения.

Описанные выше три серии опытов: с разной скоростью, с различной продолжительностью опытов и исследование влияния содержания влаги в используемом объеме угля, по существу, означали определение приемлемых условий проведения исследования влияния других параметров процесса на интенсивность абразивного износа угольными частицами. В частности, они позволили установить допустимую скорость и продолжительность взаимодействия образца с исследуемым объемом угля (при которой изменение размера частиц не превысит 5 процентов от исходного размера). Также установлено, что превышение влажности объема угля, используемого в качестве изнашивающего материала, выше определенной величины практически полностью искажает процесс износа. В связи с этим именно эти

три величины поддерживались неизменными при проведении других исследований.

5.4 Исследование зависимости интенсивности абразивного износа от уровня температурной обработки исследуемого объема угля

При проведении этих опытов необходимо было обеспечить стабильность протекания процесса нагревания через достижение равенства температуры объема угля и объема установки. На рисунке 4.9 показано, что это равенство температур (на уровне 80°C) достигается через 9 минут от начала включения нагревателей наружного цилиндра.

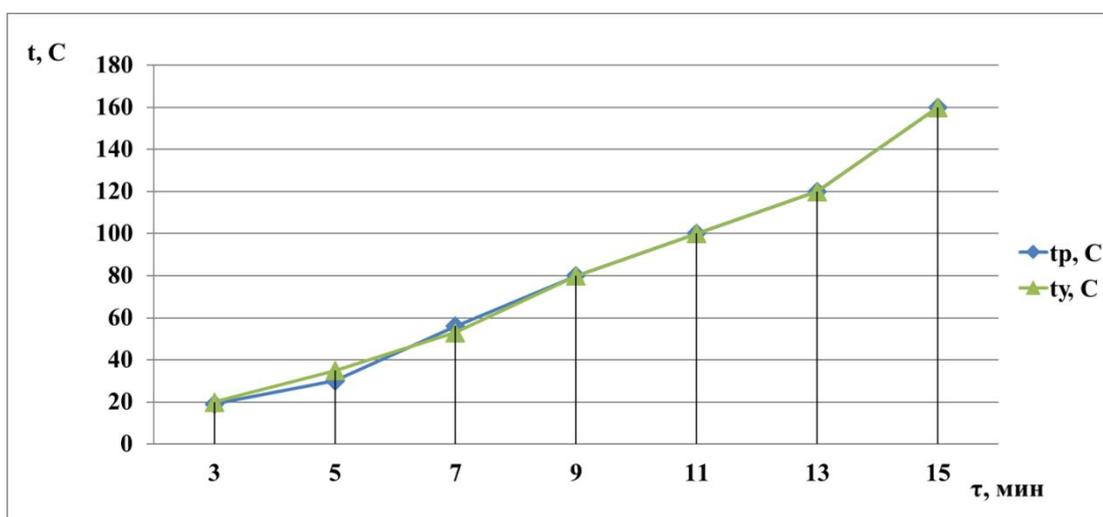


Рисунок 5.9 - Изменение температур установки и объема угля по времени для всех исследованных размеров частиц для трех углей

Как видно из этого рисунка 5.9 разность температуры объем установки и объем угля после 7 минут практически исчезает. В связи с этим, все опыты с разным нагревом угля проводились после 7 минут. Это исключало изменение температуры угольных частиц при используемой продолжительности опыта. Диапазон изменения температуры угольных частиц практически соответствовал уровню температур характерных для условий работы мельниц.

Изменение температуры рабочей среды производили с помощью регулятора температуры, установленного в агрегате.



а) Инфракрасный термометр Fluke 52 II

в) Тепловизор Flir i5

Рисунок 5.10 - Измерение температуры

Результат изучения влияния температуры угольных частиц интенсивность абразивного износа показан на рисунке 5.11

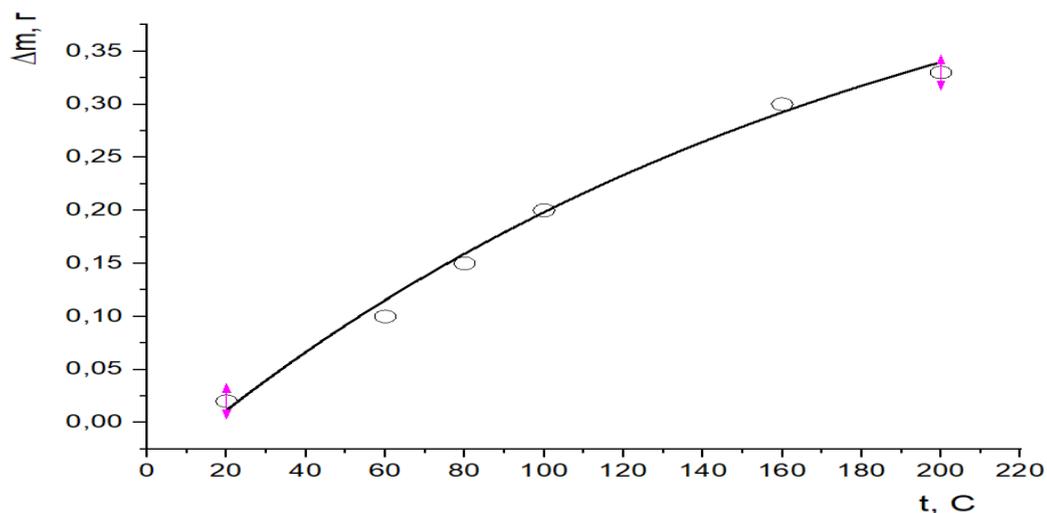


Рисунок 5.11 - Зависимость абразивного износа от температуры частицы для всех исследованных размеров частиц для трех углей

Как видно из этих данных наблюдается заметное возрастание интенсивности абразивного износа по мере роста температуры угольных частиц. Этот эффект, по всей вероятности обуславливается возрастанием степени коксования угольных частиц по мере выделения летучих

веществ. Известно, что абразивность кокса традиционно выше абразивности исходного угля, возможно в том числе и изменением влажности по мере нагревания. Можно предполагать, что заметного влияния изменения уровня выхода летучих при изменении температуры угольных частиц в исследованном диапазоне будет незначительным

Необходимо отметить, что при изучении влияния доли выхода летучих на абразивный износ (эти результаты будут описаны далее) исследуемый объем угля приводился к комнатной температуре (однако это не исключает влияние возрастания степени коксования угольных частиц). В частности, в этих опытах исследуемый объем угля нагревался в специальной печи и затем перед загрузкой в установку охлаждался до комнатной температуры. Все опыты проводились с тремя углями.

5.5 Исследование зависимости абразивного износа от степени выхода летучих из используемого объема угля

Следующий этап исследований заключается в определении абразивного износа объемом угля, прошедшего обработку при высоких температурах с последующим частичным (на уровне 5 процентов) выходом части летучих.

Повторно можно отметить, что распределение частиц угля после каждой температуры нагрева для трех исследованных углей и для трех размеров проводился до и после каждого опыта

Необходимый для исследований нагрев угольных частиц и разный выход летучих обеспечивался при нагревании используемого объема угля от 20 до 400⁰С в объеме установки. Кроме этого, использовался и другой вариант извлечения части летучих из исследуемого объема угля. с помощью муфельной печи (рисунок 5.14), в которой температура могла достигать (900±5) °С (однако в исследованиях она не превышала те же 400⁰С).

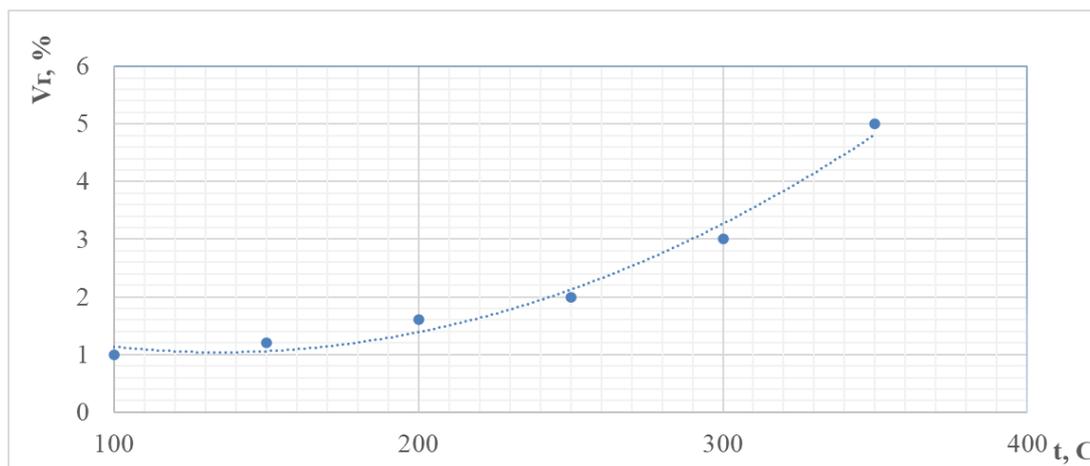


Рисунок 5.12 – Изменение выхода летучих от температуры 100⁰С до 400⁰С

Как видно из этих данных до значений температуры менее 200⁰С (температуры измельчаемого угля в объеме мельниц) величина выхода летучих веществ практически не меняется и заметно возрастает после 300-350⁰С.



Рисунок 5.13 – Газоанализатор testo 300

Общий вид газоанализатора, который использовался для химического анализа выходящих летучих веществ при разных температурах от 20 до 400⁰С.



Рисунок 5.14 - Муфельная печь

Для полного извлечения летучих веществ из угля необходим нагрев до 900°C.



Рисунок 5.15 – Масса угля, использованная для извлечения летучих с помощью муфельной печи

Уровень выхода летучих определялся по изменению веса используемого объема до и после нагрева до каждой температуры для каждого размера частиц каждого угля. Известно, что при росте температуры (после определенного уровня) растет выхода летучих (летучие полностью извлекаются при нагреве угля до 600 – 900°C).

Таблица 5.2 – Справочный уровень содержания летучих разных углей летучих веществ и/ или определенный с помощью муфельной печи

№ п/п	Вид топлива	V ^r , %
1	Шубарколь	40,3
2	Каражыра	43,2
3	Екибастуз	27,8

Температура измерялась инфракрасным термометром Fluke 52 II. Опыты проводились с объемами угля, прошедших разную температурную обработку с последующим охлаждением до комнатной температуры.

Нагрев угольных частиц для извлечения летучих проводился с предварительно просушенным объемом угля.

Следует отметить, что, при использовании муфельной печи, которая допускает нагрев угля до 900 °С при которой летучие вещества извлекается практически полностью. Также можно заметить, что величина выхода летучих веществ Екибастузского угля совпадает со справочными значениями этого угля. Измерение веса объема угля до и после нагрева для извлечения части летучих показано на рисунке 5.16. Такое измерение уменьшала возможность изменения влажности используемого объема угля



Рисунок 5.16 - Измерение веса объема частиц до и после нагревания

Результаты опытов приведены на рисунках 5.17, 5.18, 4.19. Выход летучих влияет на интенсивность абразивного износа, где без извлечения больше изнашивает, а при извлечении меньше изнашивает образцы. Зависимость абразивного износа от уровня выхода летучих для разных углей показано на рисунках 5.17, 5.18 т 5. 19.

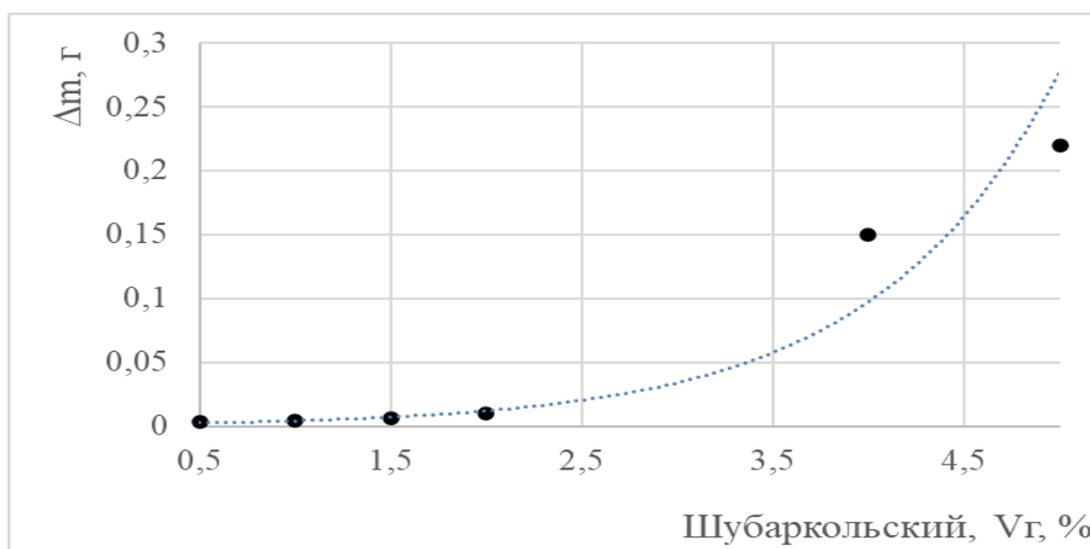


Рисунок 5.17 - Изменение абразивного износа объемом угля при различном уровне выхода летучих (Шубаркольский уголь)

Заметное увеличение интенсивности абразивного износа при извлечении летучих вполне соответствует общепринятому возрастанию абразивности при возрастании доли коксового остатка в угле.

Аналогичные результаты получены для Екибастузского угля и угля месторождения Кара жыра (рисунки 5.18, 5.19)

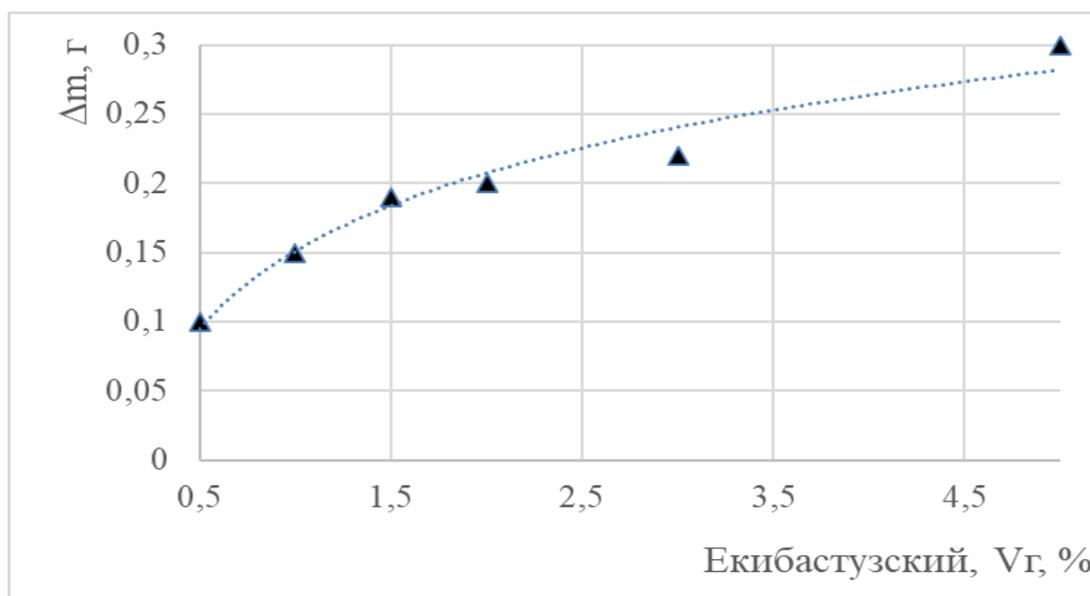


Рисунок 5.18 - Изменение абразивного износа объемом угля при различном уровне выхода летучих (Екибастузский)

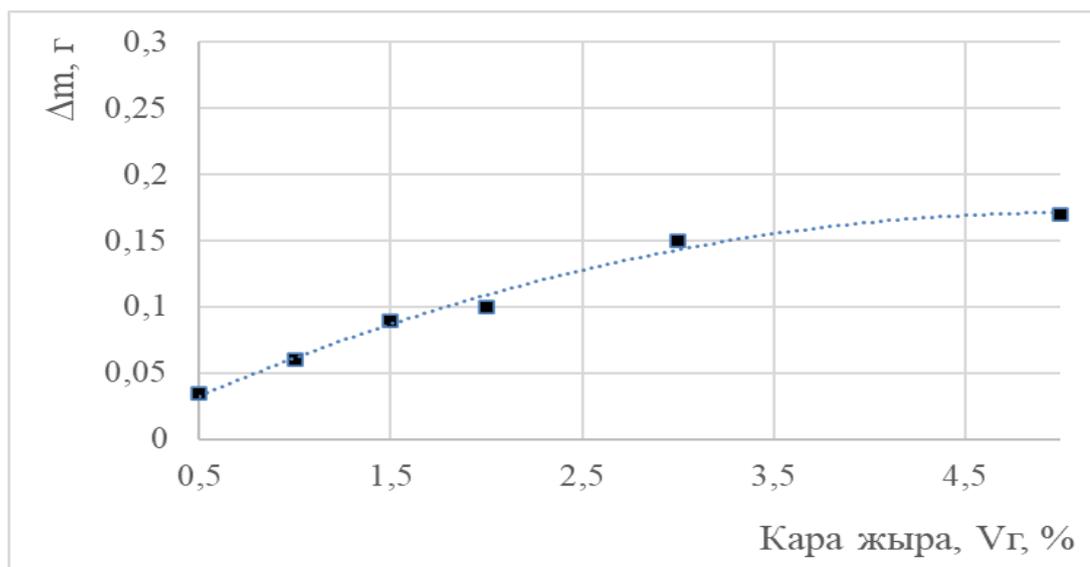


Рисунок 5.19 - Изменение абразивного износа объемом угля при различном уровне выхода летучих (Кара жыра)

Эти результаты показывают линейный рост интенсивности абразивного износа по мере увеличения извлекаемой доли летучих, что, по сути, показывает, что коксовый остаток имеет более высокую абразивность. Можно заметить, что вид этой зависимости для угля Кара жыра и Екибастузского угля имеет весьма схожий вид. Однако зависимость интенсивности абразивного износа для Шубаркольского угля имеет несколько другой вид при сохранении общей тенденции возрастания интенсивности износа по мере роста степени извлечения летучих веществ из угля.

5.6 Исследование зависимости абразивного износа при разных формах и углах атаки

Для исследования влияния формы образца на абразивный износ были приготовлены формы как сказано в 3 разделе: пластинчатые и цилиндрические. Опыты по износу проводились при одинаковой скорости и продолжительности взаимодействия частиц углей различных месторождений при трех фракциях.

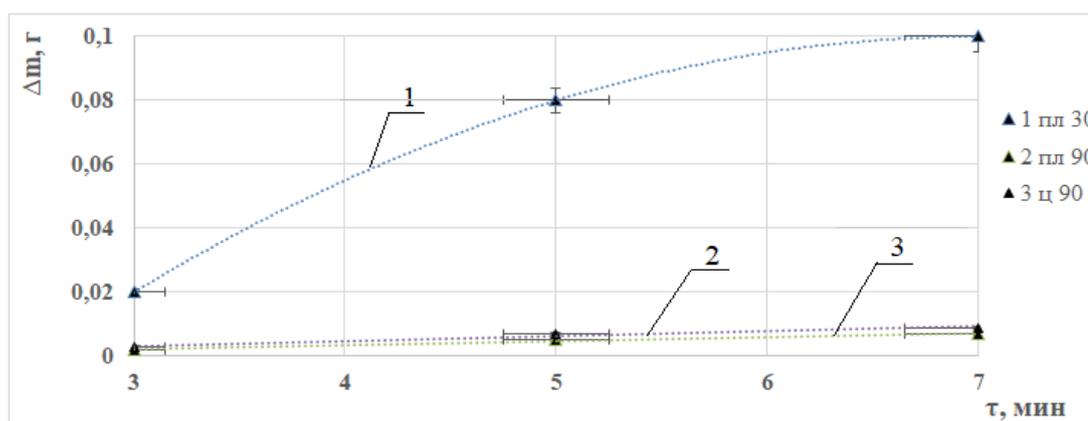
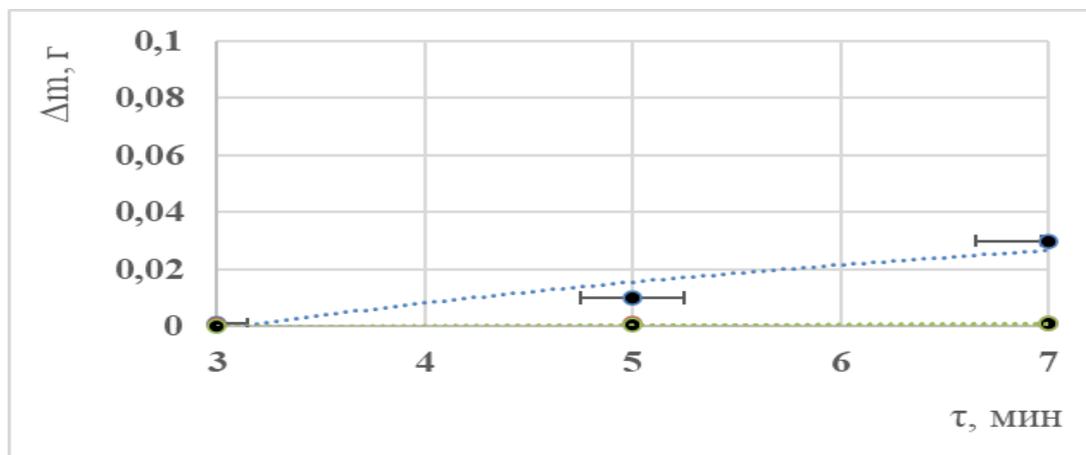
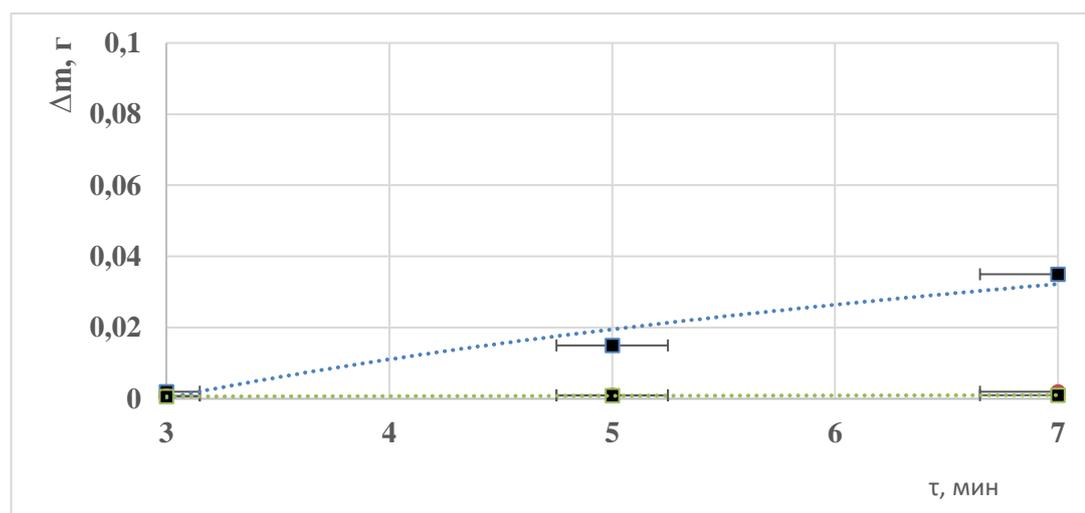


Рисунок 5.20 - Влияние угла взаимодействия плоского и цилиндрического образца с изнашивающим объемом угля на интенсивность абразивного износа. (Екибастузский уголь, $v = \text{const} = 230 \text{ см/с}$, $R = 1000 \text{ мкм}$)

Зависимости интенсивности абразивного износа угольными частицами при разных формах изнашиваемых образцов и при различных углах атаки представлены на рисунке 5.20.



а)



в)

Рисунок 5.21 - Влияние угла взаимодействия плоского и цилиндрического образца с изнашивающим объемом угля на интенсивность абразивного износа, а) уголь Каражыра, в) Шубаркольский уголь)

$$v = \text{const} = 230 \text{ см/с}, R = 1000 \text{ мкм}$$

Исследование угла атаки на интенсивность абразивного износа проводилось на плоском образце при углах установки 30 и 90 градусов (рисунок 5.21). Все опыты проводились с тремя углями. Из этих данных

видно, что износ при 30 градусах намного выше износа при 90 градусах что вполне согласуется с аналогичными результатами, полученными при износе летучей золой.

Возможно, что при угле 45 градусов износ плоского образца окажется больше, чем при 30 градусах. Именно этот эффект использован в изобретенном Алияровым Б.К. [65] сбрасывателя угля, устанавливаемого на транспортерной ленте.

Несколько неожиданный результат был получен при исследовании влияния угла взаимодействия трубчатого образца – заметного изменения интенсивности абразивного износа цилиндрического образца не было обнаружено.

5.7 Исследование зависимости интенсивности абразивного износа угольными частицами от твердости образца

Выбор материалов для изнашиваемых образцов) описывался ранее. Для исследования были взяты образцы стали 20 с твердостью 10HRC и из высоколегированной стали ледебуритного класса X12MФ, закаленной до твердости 60HRC. При изучении износа образца с повышенной твердостью, величины износа после 10 минут (это некоторое нарушение принятой продолжительности взаимодействия в 7 минут) отсутствовал заметный износ.

Таблица 5.4 - Результат исследования стальной с маркой X12MФ (время 7–10 мин, 230 см/с)

№	Вид угля	Фракция угля, г		Изменение массы образца, г	
		до	после	до	после
1	Каражыра	1000	827	78,8	78,8
2	Шубаркольский		873		
3	Екибастузский		952		

Однако при этом, как видно из таблицы 5.4 размеры частиц фракции угля заметно изменяются, возможно и в связи с увеличением времени контакта абразива и поверхностью плоского образца.

5.8 Формулы для расчета абразивности сыпучего материала

Результаты исследования показали некоторые сходство с экспресс - методом Баяхунова А.Я. Экспресс-метод Баяхунова дает коэффициент абразивности золы. А новый метод дает коэффициент интенсивности абразивного износа.

По экспресс - методу Вдовенко - Баяхунова формула коэффициента абразивности золы [66] вычисляются следующим образом:

$$K_a = A \Delta m, \quad (5.1)$$

$$\text{где, } A = \frac{\sin \alpha}{\rho \cdot \eta \omega^2 \cdot m},$$

K_a – коэффициент абразивности, $\text{м}^2/\text{Н}$,

A — постоянная абразивметра, $\text{м}^2/\text{Н} \cdot \text{кг}$.

Применение этого показателя для приведения размерностей в двух сторонах уравнения соответствие потребовало введения достаточно искусственно определяемого показателя названного «постоянной абразивметра»

Анализ многих исследований по абразивному износу летучей золой показал, что достаточно часто используемый показатель, названный коэффициентом абразивности не всегда является таковым. В связи с этим в диссертационной работе, по крайней мере в качестве основного определяемого показателя, была использована интенсивность абразивного износа

В случае изучения абразивного износа угольными частицами в наиболее общем случае интенсивность износа зависит от набора параметров

и это может быть отражено в виде зависимости функции износа от набора параметров.

$$\Delta m = f(R_i, v, \tau, V^\Gamma, W, \alpha), \quad (5.2)$$

При записи этой функции в виде зависимости интенсивности абразивного износа угольными частицами от исследованных параметров процесса (определяемого по изменению веса) она может быть записана в виде следующей формулы

$$\Delta m = (C_R \cdot R_i^{-a} \cdot C_V \cdot V^b \cdot C_\tau \cdot \tau^c \cdot C_{V^\Gamma} \cdot V^{\Gamma(d)}(t) \cdot C_W \cdot W(t)^{-e} \cdot C_\alpha \cdot \alpha^{-f}) \quad (5.3)$$

здесь, α - угол атаки плоского образца;

R_i – размер угольных частиц, мкм;

V^Γ - выход летучие, %;

W - влажность, %;

τ – продолжительность опыта, с;

v – скорость движения образца, м/с;

C_i – коэффициент при параметрах.

Конкретные значения коэффициентов C_i и степени абразивного износа при перечисленных параметрах процесса абразивного износа угольными частицами могут быть определены по результатам экспериментальных исследований интенсивности абразивного износа угольными частицами (по величине изменения вес образца) при исследованных диапазонах изменения параметров процесса. при сравнении интенсивности износа летучей золой в описанных установках с данными полученным в диссертации следует учитывать, что при износе потоком летучей золы перемещаемой воздухом или дымовыми газами изнашивается поверхность образца, обращенная к набегающему потоку. В случае изучения абразивного износа в соответствии с выбранным в диссертации движением образца в неподвижном объеме

абразива изнашиваются обе стороны образца (особенно в случае плоского образца). Пересчет этой величины для других форм изнашиваемого образца требует специальных исследований.

При составлении формулы, связывающей интенсивность абразивного износа (по изменению веса образца), могут быть использованы следующие записи зависимостей от исследованных параметров (в исследованных диапазонах их изменения):

$\Delta m = C \cdot R_i$, с размерностью коэффициента - г/м (в случае изучения влияния размера угольных частиц)

$\Delta m = C \cdot v$, с размерностью коэффициента - г/м/с (в случае изучения влияния скорости движения образца относительно объема угольных частиц)

$\Delta m = C \cdot \tau$, с размерностью коэффициента - 1/с (в случае изучения влияния времени контакта угольных частиц с образцом)

$\Delta m = C \cdot V^r$, с размерностью коэффициента - 1/% (в случае изучения влияния уровня частичного выхода летучих при нагреве объема угля)

$\Delta m = C \cdot W$, с размерностью 1/% (в случае изучения влияния степени влажности объема угольных частиц)

$\Delta m = C \cdot \alpha$. коэффициент оказался безразмерным (в случае изучения влияния угла контакт образца с угольными частицами). Эти зависимости с коэффициентами и показателями степени при параметрах принимают следующий вид:

$$\Delta m = 0,0012 \cdot R_i^a, \quad (5.4)$$

$$\Delta m = 0,001 \cdot V^b, \quad (5.5)$$

$$\Delta m = 0,008 \cdot \tau, \quad (5.6)$$

$$\Delta m = 0,05 \cdot V^{r(c)}(t), \quad (5.7)$$

$$\Delta m = 0,006 \cdot W(t)^d \quad (5.8)$$

$$\Delta m = 0,25 \cdot \alpha^i \quad (5.9)$$

Результаты рассматриваемого исследования позволили только определить численные значения коэффициентов при каждом исследованном

параметре процесса. Однако этих результатов оказалось недостаточно для определения показателей степени при изменяемых параметрах процесса. Очевидно, что эти зависимости будут основой при составлении формулы для расчета интенсивности абразивного износа плоского образца (с двух сторон) при изменении исследованных параметров в указанных диапазонах их изменения.

Видимо следует отметить, что эти исследования были первыми в области изучения абразивного износа угольными частицами и в связи с этим составление формулы в безразмерных величинах в большей степени задачи будущих исследований в этой области. Здесь можно только отметить, что попытки обработки результатов экспериментов в виде отношения изменения веса к массе образца $\Delta \frac{m}{m}$, при всей своей привлекательности (получение величины износа в виде безразмерного отношения), достаточно несостоятельно т.к. очевидно, что вес образца не участвует в процессе износа.

Следующей обобщения результатов исследования была попытка представление интенсивности износа в виде отношения величины изменения веса образца в площади изнашиваемой поверхности с размерностью $г/м^2$. В этом случае отношение абсолютных значений изменения веса образца к его изнашиваемой площади (которая была неизменной во всей серии опытов), в исследованном диапазоне изменения параметров процесса абразивного износа, принимают вид:

$$\frac{\Delta m}{S} = C_R \cdot R_i^a = 0,0012 \cdot R_i^{(-a)}, \quad (5.10)$$

$$\frac{\Delta m}{S} = C_V \cdot V^b = 0,001 \cdot V^b, \quad (5.11)$$

$$\frac{\Delta m}{S} = C_\tau \cdot \tau^c = 0,008 \cdot \tau^c, \quad (5.12)$$

$$\frac{\Delta m}{S} = C_{V^r} \cdot V^{r(d)}(t) = 0,05 \cdot V^{r(d)}(t), \quad (5.13)$$

$$\frac{\Delta m}{S} = C_W \cdot W(t)^e = 0,006 \cdot W(t)^{(-e)}, \quad (5.14)$$

$$\frac{\Delta m}{s} = C_{\alpha} \cdot \alpha^f = 0,25 \cdot \alpha^{(-f)}. \quad (5.15)$$

В наиболее общем случае эти зависимости могут быть сведены в единую формулу вида:

$$\frac{\Delta m}{s} = C_i \frac{V^b \cdot \tau^c \cdot V^{\Gamma(d)}(t)}{R_i^a \cdot W(t)^e \cdot \alpha^f} \quad (5.16)$$

При этом очевидно, что значение C_i будет разным при каждом параметре процесса абразивного износа угольными частицами.

Еще раз можно отметить, что этих результатов оказалось недостаточно для определения показателей степени при изменяемых параметрах. Кроме того, коэффициенты при исследованных параметрах справедливы только для значения изнашиваемой поверхности использованного образца (в случае плоского образца площади двух сторон). Это отношение интенсивности износа к изнашиваемой площади в качестве показателя, отражающего исследованный процесс можно быть записано более убедительно после специальных опытов. Весьма похоже, что интенсивность абразивного износа веществ будет выражена в процентах (пока не совсем ясно относительно которой величины процесса). Составление зависимости интенсивности абразивного износа в форме отношения критериев процесса в первую очередь потребует определения критериев, определяющих этот процесс и это очевидная задача будущих исследований.

Для демонстрации сложности описания абразивного износа в виде соотношения соответствующих критериев можно вспомнить критериальные соотношения для процесса обмена теплом: для теплопроводности используется критерий Био, для конвективного обмена критерий Рейнольдса, для лучистого обмена теплом критерий Стефана Больцмана. Можно также рассмотреть критерии, используемые для весьма частной и относительно простой задачи – процесс движения образования жидкости и газа и силой, обусловленной разностью плотности -Эйлера, Фруда, Гразгофа.

5.9 Оценка точности измерений

При проведении экспериментов соблюдались условия [67] проведения опытов и использовалась измерительная аппаратура с требуемой точностью (Приложение Ж):

1. Для определения фракции сыпучего материала использовался стенд AS 200 RETSCH
2. Лабораторные микроаналитические весы с дискретностью 0,0001г
3. Газоанализатор testo 300, погрешность $\pm 10\%$
4. Муфельная печь, $\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$
5. Тепловизор Flir i5, $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$
6. Инфракрасный термометр Fluke 52 II, $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$
7. Стационарный твердомер, погрешность регулируется по эталону.

Интенсивность абразивного износа определялась по изменению веса образца до и после конкретной серии опытов, взвешиванием на лабораторных аналитических весах, обеспечивающих требуемую точность измерений. Взвешивание образцов до и после опыта производилось на аналитических весах ВЛ-120М и полумикроаналитических весах. Чувствительность их соответственно равна 0,001 г и 0,0001 г.

При среднем весе образца, равном 70 г. погрешность при взвешивании соответственно составляет 0,007% или 0,0007%. При проведении опытов нас интересовала убыль веса образца, т.е. разница между двумя взвешиваниями. Взвешиванием на одних и тех же весах исключались возможные систематические ошибки взвешивания. Если возможную ошибку при взвешивании отнести к изменению веса образца, то максимальное ее значение составит 1%, минимальное - 0,5 %.

Частицы сыпучих материалов взвешивались на аналитических весах [68] с точностью до 0,0001 г. При минимальном весе 1000 г. Ошибка при взвешивании составит 0,0001%.

При исследовании выхода летучих веществ, при высоких температурах с помощью газоанализатора, с начало определяли наличие летучих веществ в лабораторной аудитории, а только после этого проводили эксперименты.

Исследования с помощью муфельной печи проведены по ГОСТу. Температура измерялось с контактным термометром (Приложение Е). Согласно ГОСТа, тигель с навесками, закрытой крышкой, помещают в гнездо холодной подставки и затем переносят в муфельную печь, закрывают дверцу печи и оставляют на 7 мин. За это время при закрытой крышке появляется конденсат, а если тигель не закрыт крышкой уголь начинает гореть.

Для получения необходимых данных был изменен ход эксперимента. Тигель при закрытой крышке внутри печи оставляли на 2 минуты, затем охлаждали до 25 градусов температуры. После охлаждения производили взвешивание угля. Этот опыт проводился до тех пор, пока вес угля перестал изменяться. Погрешность между опытами составляла не более 0,3%.

Каждый раз при проведении опыта измеряли температуру частиц угля с помощью Тепловизора Fluke TiS20+ MAX 9HZ, которая должна быть одинаковой с температурой установки. Температура частиц, понизившаяся в установке, снова должна достичь ± 5 °C температуры установки не более чем за 3 мин. Погрешность составляла 0,05%.

Исследование твердости образцов проводилось, как уже описано в предыдущей главе, с помощью стационарного твердомера [сертификат о поверке]. Погрешность твердомера составила 0,062 %.

Результаты экспериментов подтверждаются неоднократными экспериментами, повторяемостью результатов при использовании идентичных фракций, измерительными приборами с требуемой точностью для исследования всех сыпучих материалов. Измерительные приборы внесенные в реестр СИ РК с наличием сертификата о поверке (Приложение Г)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе выполнено исследование закономерностей интенсивности абразивного износа угольными частицами преимущественно плоского образца из стали 20. Как известно, при изучении износа летучей золой, изнашиваемый образец оставался неподвижным и перемещалась летучая зола. В рассматриваемой работе был использован, как бы «обратный» вариант, при котором перемещался изнашиваемый образец. И при этом изнашивающий объем угля оставался неподвижным. Это обеспечивало сохранение идентичности условий проведения опытов при изменении основных параметров процесса абразивного износа угольными частицами. Однако при этом возникла необходимость обеспечения сохранения размеров угольных частиц. Было очевидно, что при воздействии твердого образца на используемый объем угля с определенной продолжительностью, перемещающегося с определённой скоростью угольные частицы подвергались определенному измельчению. В связи с этим были выполнены специальные исследования в результате, которых было установлено, что при движении твердого образца со скоростью не более 230 см/с, с продолжительностью не более 7 минут обеспечивается приемлемое сохранение размера изнашивающих угольных частиц. Также была установлена влажность объема угля, при которой влияние влажности будет минимальным. Так же были выполнены другие исследования, которые обеспечивали проведение исследований с требуемой достоверностью.

В связи с этим большое внимание было уделено разработке методики проведения исследований интенсивности абразивного износа угольными частицами при достаточно широком варьировании многими параметрами процесса.

На основе этих исследований была создана экспериментальная установка, обеспечивающая проведение этих экспериментов с требуемой достоверностью.

При проведении опытов были использованы современные инструменты и методики измерений, обеспечивающие приемлемую точность.

Конкретные результаты диссертационной работы сводятся к следующим

1. Разработана экспериментальная установка, позволяющая проводить исследования процесса абразивного износа угольными частицами при широком варьировании основными параметрами процесса. На установку получены патенты на полезную модель и на изобретение РК.

2. Разработана методика проведения исследования, обеспечивающая получение данных по интенсивности абразивного износа угольными частицами с требуемой достоверностью при широком варьировании основными параметрами процесса.

3. Для трех углей установлены закономерности влияния изменения размера частиц, скорости, продолжительность опытов, угла атаки плоского образца, температуры нагрева материала, уровня выхода летучих, влажности.

4. Составлена эмпирическая формула для расчёта интенсивности абразивного износа угольных частиц при изменении: размера частиц, скорости, продолжительности опытов, температуры, влажности частиц, степени выхода летучих, формы образца, углах атаки, прочности образца.

Обсуждается возможность утверждения республиканского стандарта по определению абразивности сыпучих материалов.

Сформулированы задачи дальнейших исследований, в частности отмечена необходимость проведения исследований с измельченным углем по разработанной методике.

Установка при некоторой модификации допускает изучение закономерностей гидравлического износа.

На этой установке могут быть изучены закономерности выхода летучих разных углей и их смесей с другими горючими веществами (в определенной степени - процесс газификации).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Акционерное общество «Системный оператор Единой энергетической системы». <http://www.so-ups.ru/>.
- 2 Обзоры результативности экологической деятельности ЕЭК ООН в странах Центральной Азии. Брюссель, 12–13 февраля 2020 года
- 3 Дукенбаев К.Д. Энергетика Казахстана. Условия и механизмы ее устойчивого развития. Алматы, «Атамұра», 2002
- 4 Key World energy statistics / Dr. Fatih Birol // International Energy Agency (IEA). – 2021.
- 5 Indiana Center for Coal Technology Research. CCTR, Potter Center, 500 Central Drive, West Lafayette, IN 47907-2022 <http://www.purdue.edu/dp/energy>.
- 6 Алияров Б.К., Алиярова М.Б. Казахстан: энергетическая безопасность, энергетическая эффективность и устойчивость развития энергетики. Алматы. 2010, ГЫЛЫМ, 277 с.
- 7 Национальный энергетический доклад 2021. <https://www.kazenergy.com/ru/>
- 8 Братчиков В.Н. К вопросу о золовом износе трубчатых поверхностей нагрева котлоагрегатов: Автореферат дис. на соискание учен. степени кандидата техн. наук // М-во высш. образования. Томский ордена Труд. Красного Знамени политехн. ин-т им. С. М. Кирова. - Томск: 1959. – 12.
- 9 Рябченков А.В. Упрочнение и защита от коррозии деталей методом химического никелирования. - Москва: Машиностроение, 1965. - 128 с.
- 10 Изобретение СССР SU 1712739 A1, МПК F2 В 37/10. Конвективная поверхность нагрева энергетических котлов. / М.С. Анафин и Б.К. Алияров; заявитель и патентообладатель Павлодарский индустриальный институт. – №4735793/06; заявл. 07.09.89; опубл. 15.02.1992, Бюл. №6. – 3 с.

- 11 Вдовенко М.И., Баяхунов А.Я., Чурсина Н.Я. Загрязнение и износ поверхностей нагрева парогенераторов. Издательство «Наука» КазССР. - Алма-Ата, 1978
- 12 Әкімбек Г.Ә. Ходанова Т.В. Жекенов Е.Л. Методическое указание лабораторных работ по дисциплине «ТЭУ» Алматы, НАО АУЭС, 2022 г.
- 13 Сыркин С.Н. Золовой износ экономайзерных пучков. // Советское котлотурбостроение. 1945г., №3 с.8.
- 14 Лебедев И.К. К вопросу о физической природе золотого износа в котельных установках. Известия Томского ордена трудового красного знамени политехнического института имени С. М. Кирова, 1952г. Том 9.
- 15 Братчиков В.Н. Влияние фракционного состава золы на абразивный износ конвективных поверхностей нагрева парогенераторов. «Теплоэнергетика», 1971, № 3, с. 91–92.
- 16 Рябченков А.В., Муравкин О.Н. исследование коррозионно-абразивного изнашивания стали применительно к трубам водяных экономайзеров. – В. кн. Трение и износ в машинах, 1956, №11, с.31.
- 17 Finnie I. Erosion of surfaces by solid particles // Wear. — 1960. - № 3 (2). pp. 87–103.
- 18 Кащеев, В.Н. О механизме разрушения металлической поверхности свободно ударяющейся абразивной частицей / В. Н. Кащеев, В. М. Глазков // Энергетика, 1961. - №4. - с. 80–85.
- 19 Кащеев, В.Н. Процессы в зоне фракционного контакта металлов. - Москва: Машиностроение, 1978. – с. 213
- 20 Веллинггер К., Уэтц Г. Изнашивание струей абразивного материала. В кн.: Сборник переводов. № 32. - М.: Машиностроение, 1956, с. 15–21.
- 21 Вдовенко М.И., Резняков А.Б. О физических основах взаимодействия аэрозолей с обтекаемыми поверхностями. – В кн.: Проблемы

теплоэнергетики и прикладной теплофизики. Вып. 9. Алма-Ата, «Наука» КазССР, 1973.

22 Akimbek G.A., Aliyarov B.K., Badaker V.C., Akimbekova S.A. Methodology and experimental setup for the study of relative abrasiveness of bulk solids. News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences, 2022, 2022(1), pp. 14–20.

23 Tylczak H. Erosion - corrosion of iron and nickel alloys at elevated temperature in a combustion gas environment. Wear 2013;302(1e2): 1633e41. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2013.01.008>.

24 Дубовский И.Е., Патронова М.В. Золовой износ труб в экономайзерах при сжигании эстонских сланцев. Энергомашиностроение, 1962, & 12, с. 13-17.

25 Кузнецов Н.В. Рабочие процессы и вопросы усовершенствования конвективных поверхностей котельных агрегатов. Москва-Ленинград: Государственное энергетическое издательство, 1958–174 с.

26 Баяхунов А.Я. Методика определения абразивных свойств топочной золы энергетических углей. Автореферат кандидатской диссертации. Алма-Ата, 1968.

27 Әкімбек Г.Ә., Сатымғалиева М.Б., Алияров Б.К. Қатты отыннан жанғыш газдардың бөлінуін зерттеу. // ҚазККА Хабаршысы № 2 (121), 2022. с. 468-477. DOI 10.52167/1609-1817.

28 Патент на изобретение «Устройство для защиты конвективных труб котла от золового износа». / Әкімбек Г.Ә., Алияров Б.К, Орумбаев Р.К., Кибарин А.А., Коробков М.С., Бахтияр Б.Т.; заявитель и патентообладатель НАО «АУЭС». № 35622; заявл. 23.02.2021; опубл. 22.04.2022.

29 Герасимова Н.П. Золовой износ поверхностей нагрева котлоагрегатов. Вестник Иркутского государственного технического университета, 2020. Т 24. №3. с. 596–605.

30 Анафин М.С. Сравнительные исследования золотого износа конвективных поверхностей нагрева при нисходящем и восходящем движениях дымовых газов. Автореферат. Алма-Ата – 1992 г.

31 Scieszka S.F. Simultaneous abrasion and edge fracture resistance estimation of hard materials by the tribotesting method. ZEM, (2 (166) vol. 46, 2011).

32 Higuera H.V., Varela J.B., Menndez A.C., Martinez S.P. High temperature erosion wear of flame and plasma-sprayed nickel-chromium coatings under simulated coal-fired boiler atmospheres. Wear 2001;247(2):214e22. [https://doi.org/10.1016/S0043-1648\(00\)00540-8](https://doi.org/10.1016/S0043-1648(00)00540-8).

33 Материаловедение: учебник для втузов. // Б.Н. Арзамасов И.И. Сидорин., Косолапов Г.Ф. и др.; под общ. ред. Арзамасова Б.Н.. – М.: Машиностроение, 1986. – 384 с.

34 Микула В.А., Масленников Г.Е. Абразивный износ в газоохладителе. Учебное пособие. Издательство Уральского университета, 2022.

35 Li M., Tang S., Wang F., Zhao Q., Tao W. Gas-side fouling, erosion, and corrosion of heat exchangers for middle/low temperature waste heat utilization: a review on simulation and experiment. Appl Therm Eng 2017; 126:737e61. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.07.095>.

36 Xie J., Walsh P. Erosion-corrosion of carbon steel by products of coal combustion. Wear 1995;186e187(1):256e65. [https://doi.org/10.1016/S0043-1648\(95\)07168-7](https://doi.org/10.1016/S0043-1648(95)07168-7).

37 Wang B., Luer K. The relative erosivity of limestone, dolomite and coal samples from an operating boiler. Wear 1998;215(1e2):180e90. [https://doi.org/10.1016/S0043-1648\(97\)00241-X](https://doi.org/10.1016/S0043-1648(97)00241-X).

38 Higuera H.V., Varela J.B., Menndez A.C., Martinez S.P. High temperature erosion wear of flame and plasma-sprayed nickel-chromium coatings under simulated coal-fired boiler atmospheres. Wear 2001;247(2):214e22. [https://doi.org/10.1016/S0043-1648\(00\)00540-8](https://doi.org/10.1016/S0043-1648(00)00540-8).

39 Venugopal K., Agrawal M. Evaluation of arc sprayed coatings for erosion protection of tubes in atmospheric fluidized bed combustion (AFBC) boilers. *Wear* 2008;264(1e2):139e45. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2007.05.013>.

40 Жангаскин К.Н. Математическая модель и методика расчета газообразного износа кроволинейных поверхностей (на примере элементов газового тракта котлоагрегата): автореф. ... кан.тех.наук: Алматы, 1999.

41 Омаров К. О возможности уменьшения абразивного износа котельного оборудования изменением фракционного состава угольной пыли. КазПТИ им. В.И. Ленина. Материалы конференции. Алма-Ата, 1970 г.

42 Дик Э.П., Сироха Р.А. Изучение условий образования золовых отложений при сжигании назаровского угля. —«Теплоэнергетика», 1969, №10

43 Laubscher R., Rousseau P. Numerical investigation on the impact of variable particle radiation properties on the heat transfer in high ash pulverized coal boiler through co-simulation. *Energy* 2020; 195:117006. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117006>.

44 Orumbayev R.K., Bakhtiyar B.T., Umyshev D.R., Kumargazina M.B., Otyunchiyeva M.T., Akimbek G.A. Experimental study of ash chafe of boiler heat exchange surfaces. // *Energy Volume 215, Part A, January 15, 2021, 119119*. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.119119>.

45 Зацаринная Ю.Н. Мингалеева Г.Р. Вачагина Е.К. Назмеев Ю.Г. Структура анализ замкнутой индивидуальной системы топливоприготовления с промежуточным бункером пыли. // *Современные наукоемкие технологии*. – 2005. -№ 5. С. 54-54. URL: <https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=22932> (дата обращения: 18.11.2022).

46 Kouprianov V. Modeling of thermal characteristics for a furnace of a 500 MW boiler fired with high-ash coal. *Energy* 2001;26(9):839e53. [https://doi.org/10.1016/S0360-5442\(01\)00033-0](https://doi.org/10.1016/S0360-5442(01)00033-0).

47 Boilers series PTVM (KV-GM) 58.2 MW. 2020. accessed, https://bzk-vo.ru/pages/category_full/ptvm. [Accessed 9 September 2020].

48 Тепловой расчет котлов (нормативный метод). Издание третье, переработанное и дополненное. Санкт-Петербург, 1998. с. 257.

49 Добыча, переработка, отгрузка и продажа угля на предприятиях группы компаний «КАРАКАН ИНВЕСТ» сертифицирована в соответствии с международными стандартами ISO 9001:2008 и ISO 14001:2004.

50 Бобеев А.Б., Джундибаев В.Е., Жолдыбаева Г.С. Снижение абразивного износа загрузочных и разгрузочных устройств. Вестник ПГУ Серия Энергетическая. 2011. № 4. с. 22–23

51 Akimbek, G.A., Aliyarov, B.K., Akimbekova, S.A., Zhauytm, A. Determination of the intensity of abrasive chafe by different chafeing materials. // Metalurgija, 2021, 60(3-4), pp. 351–354

52 Патент на полезную модель «Устройство для исследования абразивности сыпучих веществ». / Экімбек Г.Ә., Алияров Б.К.; заявитель и патентообладатель НАО «АУЭС». № 5806; заявл. 29.10.2020; опубл. 29.01.2021.

53 Akimbek G., Aliyarov B., Akimbekova Sh. The Development of the Method and Determination of the Relative Abrasiveness of Bulk Substances. // E3S Web of Conferences 207, 0 (2020) PERM'2020. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020705003>

54 Akimbek G.A., Aliyarov B.K., Akimbekova Sh.A. Experimental setup for the study of the relative abrasiveness of bulk solids. // Proceeding of the 2nd international scientific and practical conference "Global approach to scientific research" (4–5.12.2021 Salvador, Brazil, pp. 357-366

55 Патент на изобретение «Устройство для исследования абразивности сыпучих материалов средней фракции». / Экімбек Г.Ә., Алияров Б.К., Бадакер В.С.; заявитель и патентообладатель НАО «АУЭС». № 35839; заявл. 08.07.2021; опубл. 09.09.2022.

56 Альтернативное решение сжигание смесевых топлив. // Ежегодное собрание Всемирного экономического форума. 17–20 января 2017 г. Давос-Клостерс, Швейцария.

57 Янковский С.А., Кузнецов Г.В. // Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки. – 2017. Т. 23.

58 Сатымгалиева М.Б., Әкімбек Г.Ә., Алияров Б.К., Коробков М.С. Название доклада: Қатты отыннан жанғыш газ алуды зерттеуге арналған эксперименттік қондырғы. // XII Международную научно-техническую конференцию «Энергетика, инфокоммуникационные технологии и высшее образование, проведенной 20-21 октября 2022, в г. Алматы, Казахстан.

59 Достияров А.М., Әкімбек Г.Ә., Бахтияр Б.Т. Энергетикалық отындар: абразивтілік пен тозу. Учебник, Алматы, НАО АУЭС: Издательство ЖК Salem, Ратушного, 80, 2020. – 218 с. ISBN:978-6017642-08-2

60 Алияров Б.К., Әкімбек Г.Ә. Сусымалы заттардың салыстырмалы абразивтілігін анықтау тәсілі. // VIII Международной научно – практической конференции: «Актуальные проблемы транспорта и энергетики: пути их инновационного решения». – Нур-Султан, 2020. – 272 б.

61 Отчет о научно-исследовательской работе по теме «Разработка техдокументации на реконструкцию схемы сжигания и пылеугольных горелок топки котла ПК-39–II, ЭС АО «КазНИИ энергетики им. академика Ш.Ч.Чокина». - Алматы.- 2009. – 59 с.

62 Мингалеева Г.Р., Зацаринная Ю.Н., Вачагина Е.К. Анализ работы системы подготовки топлива пылеугольной ТЭС. // Проблемы энергетики, 2005, № 1-2. С. 22-31.

63 ИСО 562–98, ИСО 5071-1-97. Межгосударственный стандарт. Топливо твердое минеральное. Методы определения выхода летучих веществ. М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 6 с.

64 Ходаков Г.С., Горлов Е.Г., Головин Г.С. Производство и трубопроводное транспортирование водоугольных суспензий для ТЭС. // ФГУП «Институт горячих ископаемых – НТИЦ по комплексной переработке твердых горючих ископаемых» Россия 119071. Г. Москва, 2006. с. 99–100.

65 Патент на изобретение Республики Казахстан, МПК F22B 37/40, Топочный экран / Айрих Ю. Э., Алияров Б.К., Орумбаев Р.К., Косатый В.В.,

Кравченко В.И., Чижов В.Э.; – № 3457; заявл. 15.11.95; опубл. 10.06.96, Бюл. №2. – 1 с.

66 ГОСТ-21708-96. Метод определения коэффициента абразивности золы. Межгосударственный стандарт. ИПК Издательство стандартов, 1997.

67 Морозов В.В., Сobotковский Б.Б., Шейнман И.Л. Методы обработки результатов физического эксперимента. Учебное пособие. Издательство СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – Санкт-Петербург, 2004. с.63.

68 ГОСТ 24104–2001 Лабораторные весы.

69 Алияров Б.К., Алиярова М.Б. Сжигание Казахстанских углей на ТЭС и на крупных котельных, Алматы 2012. ГЫЛЫМ, 304с

70 Fouad Al-Mansour, Jaroslaw Zuwala. An evaluation of biomass co-firing in Europe/ biomass and bioenergy, Issue 5, May 2010, Pages 620-629.

71 Портнов В.С., Юров В.М., Алиев С.Б. и др. Прогнозирование ресурсов минеральных месторождений с помощью геофизических методов // Вестник РУДН. Серия Инженерные исследования. – 2012. – №2. – С. 94–101.

72 Материаловедение и технология металлов: учебник для вузов / под ред. Г. П. Фетисова. – 4-е изд., испр. – М.: Высшая школа, 2006. – 862 с.

73 Лебедев Б.П., Файбисович Д.Л. Электроэнергетика мира в 1995 году // Электрические станции. 1998. - №8. - С. 65–70.

74 АС SU №1442808, МПК F28G 15/10, опубликовано: 07.12.88, бюл. № 45.

75 АС SU №1252608, МПК F22B 37/02, опубликовано: 23.08.86, бюл. № 31.

76 Патент СССР авт. св. № 214195, по МПК G01N3/56, опубл. 1968

77 СССР авт. св. № 266687, E21C 39/00, опубл. 01.06.1970, бюл. №12

78 Патент RU № 2328720, кл. G01N 3/56, 2008

79 Әкімбек Г.Ә., Сатымғалиева М.Б., Алияров Б.К. Тозаң дайындау жүйесінің диірмендерінің энергетикалық үнемділігін арттыру.// Павлодар: Вестник ПГУ, № 2, 2021. С. 53.

80 Askarova A.S., Bolegenova SA, Maximov VYu, Bekmuhamet A. Mathematical simulation of pulverized coal in combustion chamber. Procedia Engineering 2012;42:1150-6. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.07.507>.

81 Акимбек Г.А. Алияров Б.К., Халимбетова С.А. Устройство для определения относительной абразивности твердых сыпучих материалов. II Международной научно-практической конференции «Управление инновационными процессами в условиях модернизации образования и науки», проведенной 8-10 апреля 2020, в г. Мюнхен, Германия. - 311-314 с.

82 Акимбек Г.А. Алияров Б.К. Способ определения относительной абразивности сыпучих веществ. // Международной научно-технической конференции «Юбилейные чтения Бойко Ф. К.», посвященной 100-летию Бойко Ф.К., от 21 февраля 2020 г в г. Павлодар. С. 182-187.

83 Акимбек Г.А. Алияров Б.К. Методика определения относительной абразивности сыпучих веществ. // V Всероссийская научно-практическая конференция «Энергетика и энергосбережение: теория и практика» 16-17 декабря 2020 г. С. 103-107.

Рекомендации по использованию предлагаемой установки

В рамках выполнения диссертационной работы были даны следующие рекомендации по проектированию и эксплуатации установки для определения абразивности сыпучих материалов, а также и для исследования извлечения горючих газов из твердого топлива:

1) в предлагаемой установке рекомендуем взять фракций от 50 мкм до 3000 мкм.

2) При определении абразивности сыпучего материала следить за необходимостью обеспечения сохранения неизменным размера частиц в процессе проведения опытов, т. к. уголь при взаимодействии между собой или с образцом, неизбежно подвергается определенному измельчению.

3) При проектировании модернизации или реконструкции установки надо сделать установку герметичным

4) При обмотке внешнего цилиндра использовать вместо нагревателя кантала, потому что он более пластичен, изготовление кантала дешевле, чем изготовление нихрома

5) при изготовлении установки сделать специальную отверстие для зонда отбора пробы газоанализатора

6) для взвешивания сыпучего материала выбрать аналитические весы с дискретностью от 0,0001г

7) Надо знать, что определения абразивности сыпучих материалов зависит от физических свойств сыпучего материала: влажности, массовой доли, характеристик минеральных веществ, которым подвергается сыпучих материалов.

8) Позволяет используемой формулы по определению абразивного износа от скорости, концентрации и размера частиц

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ



РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН

REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

ПАТЕНТ
PATENT

№ 35622

ӨНЕРТАБЫСҚА / НА ИЗОБРЕТЕНИЕ / FOR INVENTION



(21) 2021/0126.1

(22) 23.02.2021

(45) 22.04.2022

- (54) Қазандықтың конвективті құбырларын күлдік тозуынан қорғауға арналған құрылғы
Устройство для защиты конвективных труб котла от золowego износа
Device for protection of convection boiler tubes from ash erosion
- (73) «Гүмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамы (KZ)
Некоммерческое акционерное общество «Алматынский университет энергетика и связи имени Гумарбека Дәукеева» (KZ)
Non-profit joint-stock company «Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after Gumarbek Daukeyev» (KZ)
- (72) Әкімбек Гүлмира Әбілқайқызы (KZ) Akimbek Gulmira Abilqairkyzy (KZ)
Алиyarov Бирлесбек Қанйевич (KZ) Aliyarov Buresbek Kaniyevich (KZ)
Орумбайев Рахымжан Кабиевич (KZ) Orumbayev Rakhimzhan Kabiyeovich (KZ)
Кибарин Андрей Анатольевич (KZ) Kibarin Andrey Anatolyevich (KZ)
Коробков Максим Сергеевич (KZ) Korobkov Maksim Sergeevich (KZ)
Бахтияр Балжан Төрешапқызы (KZ) Bakhtiyar Balzhan Torepashkyzy (KZ)



ЭЦҚ қол қойылды
Подписано ЭЦП
Signed with EDS

А. Естаев
А. Естаев
A. Yestayev

«Ұлттық зияткерлік меншік институты» РМК директорының м.а.
И.о. директора РГП «Национальный институт интеллектуальной собственности»
Executive director of RSE «National institute of intellectual property»

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ



РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН

REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

ПАТЕНТ PATENT

№ 35839

ӨНЕРТАБЫСҚА / НА ИЗОБРЕТЕНИЕ / FOR INVENTION



(21) 2021/0417.1

(22) 08.07.2021

(45) 09.09.2022

- (54) Орташа фракциялы сусымалы материалдардың абразивтілігін зерттеуге арналған қондырғы
Установка для исследования абразивности сыпучих материалов средней фракции
Medium fraction bulk material abrasiveness research installation
- (73) «Гұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті»
коммерциялық емес акционерлік қоғамы (KZ)
Некоммерческое акционерное общество «Алматинский университет энергетики и связи
имени Гумарбека Даукеева» (KZ)
«Gumarbek Daukeyev Almaty University of Power Engineering and Telecommunications» Non-
profit joint-stock company (KZ)
- (72) Әкімбек Гүлмира Әбілқайрқызы (KZ) Akimbek Gulmira Abilkairkyzy (KZ)
Алияров Бірлесбек Каниевич (KZ) Aliyarov Birlesbek Kaniyevich (KZ)
Бадакер Виктор (CH) Badaker Victor (CH)



ЭЦҚ қол қойылды
Подписано ЭЦП
Signed with EDS

Е. Оспанов
E. Ospanov
Y. Ospanov

«Ұлттық зияткерлік меншік институты» РМК директоры
Директор РГП «Национальный институт интеллектуальной собственности»
Director of the «National Institute of Intellectual Property» RSE

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Акт внедрения экспериментального стенда в учебный процесс

Бекітемін
АЭЖБУ АСД директоры
Р.Р. Мухамеджанова
11 апрель 2022 ж.

АКТ

«Жылуэнергетикалық қондырғылар» кафедрасының профессоры, академик Б.К. Алияровтың жетекшілігімен докторант Әкімбек Г.Ә. әзірлеген «ЖЭҚ» пәні бойынша оқу процесіне «Сусымалы материалдардың орташа фракциялы бөлшектерін зерттеуге арналған қондырғы» атты зертханалық жұмысты енгізу туралы дайындаған презентацияны, 2021-2022 оқу жылының 1 семестрінде технологиялық байқаудан өткен зертханалық жұмысты және «ЖЭҚ» пәні бойынша зертханалық жұмысты орындауға арналған әдістемелік нұсқауды қарастырып, ОБ 6В07107 «Энергетикалық аудит и энергия менеджменті» мамандығының төртінші курс студенттерімен мазмұны бойынша пәннің сиплабусына сәйкес келетінін және барлық оқу материалын қамтитынын растаймыз.

Қарастырылған жұмыстардың сипаттамасы және оларға берілген балдар (университет оқытушысының жұмысын бағалау туралы ережеге сәйкес) төмендегі кестеде көрсетілген.

№	Жұмыс атауы	Сиплабусқа сәйкестігі	Пайдаланылған жабдық, ПБ	Балл
1	Сусымалы материалдардың орташа фракциялы бөлшектерінің абразивтілігін зерттеу	П 4.2.1.№3	Сусымалы материалдардың орташа фракциялы бөлшектерін зерттеуге арналған қондырғы	4+2
2	Жұмыс ортасының температурасы 20 дан 400 °С болатын ұшы заттардың шығу деңгейін анықтау әдісі	П 4.2.1.№4	Сусымалы материалдардың орташа фракциялы бөлшектерін зерттеуге арналған қондырғы	2

Итого: 8 балл

Әкімбек Г.Ә. дайындаған презентацияларды, ОБ 6В07107 «Энергетикалық аудит и энергия менеджменті» мамандығы үшін «ЖЭҚ» пәні бойынша зертханалық жұмысты қарастыру нәтижесінде ОӘК «Жылуэнергетикалық қондырғылар» кафедрасының оқу процесіне кеңінен енгізуді ұсынады, ал оған қоса берілген әдістемелік нұсқаулар ОӘК стандарт .

Төрағасы ОУМК ИТО

Е.О. Елеукулов

Мүшелері ОУМК ИТО

Хан С.Г.

Тикишев Т.С.

Арыстанов Н.

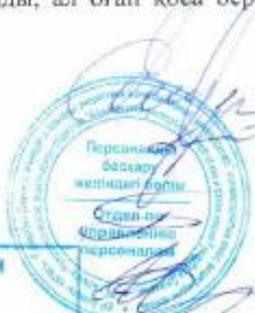
Голубева Т.В

Қолтаңбаны растаймын
Подпись заверяю

Соетангазиев

КЫЗМЕТІ _____ АТЫ-ЖӘНІ _____

« 11 » _____ 04 _____ 2022 ж.



**Акт внедрения книги в КАТУ им. С.Сейфуллина по теме
диссертационной работы**

УТВЕРЖДАЮ
Декан Энергетического
факультета
НАО «КАТУ им.
С.Сейфуллина»
Исенов С.С.

« 21 » 01 2021г.



АКТ ВНЕДРЕНИЯ

Материалы диссертационного исследования докторанта Алматинского университета энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева, **Акымбек Гульмиры Абилкайрқызы** на тему «Разработка методов и определение относительной абразивности сыпучих веществ», отраженные в учебнике «Энергетикалық отындар: абразивтілік пен тозу», написанном в соавторстве с д.т.н., профессором А.М.Достияровым используются в учебном процессе КАТУ им. С.Сейфуллина, в дисциплинах «Специальные вопросы сжигания топлива» и «Котельные установки и парогенераторы».

В этом учебнике имеются сведения касающиеся диссертационной работы докторанта, такие как: состав, качество, абразивность и износ твердого угля, а также, приведены предварительные результаты определения коэффициента относительной абразивности различных сыпучих материалов.

Данный учебник оказывает пользу для учебного процесса при подготовке бакалавров и магистрантов по специальности «Теплоэнергетика».

Материалы обсуждены и одобрены на заседании кафедры Теплоэнергетики Казахского агротехнического университета имени С.Сейфуллина (протокол № 8 от 19.01.2021 г.).

Зав. кафедрой ТЭ

Мергалимова А.К.

СПРАВКА

Дана Әкімбек Г.Ә. в том, что в библиотеку Алматинского университета энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева сдано учебное пособие:

1. Энергетикалық отындар: абразивтілік пен тозу: оқулық / А.М. Достияров, Г.Ә. Әкімбек, Б.Т. Бахтияр; ҚР БҒЖМ; АЭЖБУ. - Алматы, 2020. - 218 б. - 1 экз.
2. Бахтияр Б.Т., Әкімбек Г.А. Тәсілдемелік құбылыстарды ЖЭС-та жүзеге асыру: оқу куралы. - Алматы : ЖК «Salem», 2019. - 92 б. - 1 экз.

Директор
библиотеки



24.02.2022

Мерекеева Э.Ж.

Проекта студенческих работ, по части исследования диссертационной работы, занявшие 1 место в Республиканском конкурсе НИРС

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
«СЕМЕЙ қаласының ШӘКӘРІМ
атындағы УНИВЕРСИТЕТІ»
КОММЕРЦИЯЛЫҚ ЕМЕС
АКЦИОНЕРЛІК ҚОҒАМЫ



071412, ҚР, Семей қ., Глинка көшесі, 20А
тел.: +7 (7222) 31-31-75
e-mail: semgu@bk.ru

РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН
НЕКОММЕРЧЕСКОЕ
АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«УНИВЕРСИТЕТ имени
ШАКАРИМА города СЕМЕЙ»

071412, РК, г. Семей, ул. Глинка, 20А
тел.: +7 (7222) 31-31-75
e-mail: semgu@bk.ru

ХАТТАМА

« 29 05 20 22 ж.г.

ПРОТОКОЛ

№ 1

конкурсной комиссии II этапа Республиканского конкурса НИРС
НАО «Университет имени Шакарима города Семей»
базового вуза по разделу «Технические науки и технологии»
по специальности 5В071700 – «Теплоэнергетика» и
ОП 6В07103 «Теплоэнергетика»

Конкурсная комиссия НИРС по разделу «Технические науки и технологии», по специальности 5В071700 – «Теплоэнергетика» и ОП 6В07103 – «Теплоэнергетика» утверждена приказом Председателя Правления – Ректора от 25.03.2022 года № 77 в количестве 6 человек.

На заседании комиссии присутствовали 6 человек.

На конкурс НИРС 2022 года по секции «Теплоэнергетика» поступило 20 работ студентов, от 9 вузов РК.

Рассмотрев научные работы студентов, конкурсная комиссия базового вуза решила представить к награждению:

1. Дипломами Министерства I степени 1 работу.
2. Дипломами Министерства II степени 2 работы.
3. Дипломами Министерства III степени 3 работы.

ДИПЛОМ МИНИСТЕРСТВА I СТЕПЕНИ:

1. Сатымгалиева М.Б., студентка 4 курса Алматинского университета энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева, научная работа на тему: «Қатты отыннан жанғыш газдардың бөлінуін зерттеу».

Научный руководитель – Әкімбек Г.Ә., старший преподаватель кафедры «Тепловые энергетические установки»; Алияров Б.К., академик, д.т.н., профессор кафедры «Тепловые энергетические установки» Алматинского университета энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева.

ДИПЛОМ МИНИСТЕРСТВА II СТЕПЕНИ:

1. Мануленко А.И., студент 3 курса Университета имени Шакарима города Семей, научная работа на тему: «Разработка модульного альтернативно-энергетического комплекса».

Научный руководитель – Степанова О.А., к.т.н., доцент, зав. кафедрой «Техническая физика и теплоэнергетика» Университета имени Шакарима города Семей; Ермоленко М.В., к.т.н., старший преподаватель кафедры «Техническая физика и теплоэнергетика» Университета имени Шакарима города Семей.

2. Шукаев Р.И., студент 3 курса Алматинского университета энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева, научная работа на тему: «Повышение эффективности работы газотрубного водогрейного котла».

Научный руководитель – Абильдинова С.К., PhD, доцент кафедры «Менеджмент и предпринимательство в инженерии» Алматинского университета энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева.

ДИПЛОМ МИНИСТЕРСТВА III СТЕПЕНИ:

1. Есентаев А.К., студент 4 курса Карагандинского университета имени Е.А.Букетова, научная работа на тему: «LABSYS™EVO термиялық талдағышы арқылы табиғи минералдардың жылусыйымдылық коэффициентін анықтау».

Научный руководитель – Шаймерденова К.М., к.т.н., профессор зав. кафедрой «Инженерной теплофизики им. профессора Ж.С. Акылбаева» Карагандинского университета имени Е.А. Букетова.

2. Бекжанова А.Б., студентка 3 курса Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева, научная работа на тему: «К вопросу газификации углей месторождений Казахстана».

Научный руководитель – Өмірбаева А.Ө., старший преподаватель кафедры «Теплоэнергетика» Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева.

3. Смаилов Р.Е., студент 3 курса Торайгыров университета, научная работа на тему: «Снижение тепловых потерь административного здания за счет модернизации теплоизоляции».

Научный руководитель - Приходько Е.В., к.т.н., профессор кафедры «Теплоэнергетика» Торайгыров университет.

Денежные премии вузов:

1. Гранько Д.Е., студент 4 курса Алматинского университета энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева, научная работа на тему: «Разработка программы расчета паровой турбины Т-6-35 КТЗ».

Научный руководитель – Борисова Н.Г., к.ф.-м.н., доцент кафедры «Тепловые энергетические установки» Алматинского университета энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева.

2. Байсал А.С., Нұрлыбек Б.А., студенты 3, 4 курсов Алматинского университета энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева, научная работа

на тему: «Исследование внедрения технологии waste-to-energy на базе водогрейных котлов».

Научный руководитель – Коробков М.С., PhD, старший преподаватель кафедры «Тепловых энергетических установок», Кибарин А.А., к.т.н., профессор кафедры «Тепловые энергетические установки» Алматинского университета энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева.

3. Огай Б.Д., Ашанин А.И., Жаскайратов А.Б., студенты 1 курса Торайгыров университета, научная работа на тему: «Разработка формы брикетов и исследование их полноты сгорания».

Научный руководитель – Карманов А.Е., PhD, ассоц. профессор кафедры «Теплоэнергетика» Торайгыров университета.

Предложения и замечания по проведению Республиканского конкурса НИРС:

1. Обратить внимание руководителей и конкурсантов на качество оформления работ и соответствие требованиям. При этом работу и сведения об авторах необходимо помещать в разные конверты. На самой работе не пишется Ф.И.О. автора и научного руководителя.

2. Рекомендовать, чтобы работы, представляемые на конкурс проверялись на антиплагиат и протокол отправлять вместе с работой для участия во II этапе Республиканского конкурса НИРС.

3. В документах, прилагаемых к работе, четко показывать роль студентов в выполнении проведенных исследований, не следует вносить в приложения статьи, патенты и т.д. в которых студенты не являются авторами и соавторами.

4. Так как представляемые работы являются научно-исследовательскими работами, то в них следует указывать и научную новизну, и практическую значимость.

5. Следует использовать актуальные источники литературы отечественных и зарубежных авторов. В работе следует делать ссылки на источники, которые действительно использовались в данной работе.

Председатель
конкурсной комиссии:

А.Б. Касымов, PhD, и.о. ассоциированного
профессора

Секретарь конкурсной комиссии

Т.Н. Умыржан, преподаватель

Члены комиссии

Н.А. Демин, технический директор
ГКП «Теплокоммунэнерго»

М.Ж. Тастанбеков, инженер-теплотехник,
филиал Байкал РГП НЯЦ РК

А.Р. Хажидинова, старший преподаватель

Б.Ж. Чектыбаев, PhD, и.о.

ассоциированного профессора

Период прохождения стажировки в научно- исследовательском центре «Энергетика 4.0» заслушан доклад по диссертационной работе.

ВЫПИСКА

из протокола заседания научно-исследовательского центра «Экоэнергетика 4.0»
Инженерной школы энергетики
Национального исследовательского Томского политехнического университета
№ 1 от «05» мая 2022 г.

ПРИСУТСТВОВАЛИ:

Председатель заседания: Матвеев Александр Сергеевич, к.т.н., директор Инженерной школы энергетики.

Участники заседания: Пак А.Я. – к.т.н., научный сотрудник НИЦ «Экоэнергетика 4.0»; Янковский С.А. – к.т.н., доцент НОЦ И.Н. Бутакова; Ларионов К.Б. – к.т.н., доцент НОЦ И.Н. Бутакова; Гвоздяков Д.В. – к.т.н., доцент НОЦ И.Н. Бутакова; Лавриненко С.В. – к.пед.н., доцент НОЦ И.Н. Бутакова; Зенков А.В. – к.т.н., доцент НОЦ И.Н. Бутакова; Калтаев А.Ж. – ассистент НОЦ И.Н. Бутакова; Марышева Я.В. – инженер НИЦ «Экоэнергетика 4.0»; Асильбеков А.К. – старший лаборант.

СЛУШАЛИ:

Доклад Акимбек Гүлмиры Абилкайрқызы, докторанта образовательной программы 8D07102 – Теплоэнергетика Алматинского университета энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева, по диссертационной работе на тему «Разработка методов и определение относительной абразивности сыпучих веществ».

По докладу Соискателю были заданы вопросы: по актуальности диссертационной работы, по формулировкам поставленных задач исследования, по обоснованию достоверности полученных экспериментальных результатов, по оформлению презентации. Также участниками заседания были высказаны предложения: в презентации представить переход от описания актуальности применения на энергетических установках угля к основной цели и задачам диссертационной работы; привести принципиальную схему с не изученными областями исследований например, мало исследован абразивный износ частицами угля оборудования котельных установок ТЭС; обосновать наличие слайда по содержанию серы в угле и т.д.

На заданные вопросы Соискатель дал исчерпывающие ответы.

С оценкой работы выступили присутствующие: Матвеев А.С., Янковский С.А., Пак А.Я.

ПОСТАНОВИЛИ:

1. Диссертация «Разработка методов и определение относительной абразивности сыпучих веществ» выполнена на кафедре «Тепловые энергетические установки» Алматинского университета энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева. Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Алияров Б.К. С 27 апреля 2022 г. по 19 мая 2022 г. Акимбек Гүлмира Абилкайрқызы прошла стажировку в Национальном исследовательском Томском политехническом университете по программе «Экологически чистые технологии преобразования энергоносителей»

2. По содержанию диссертационная работа Акимбек Гүлмиры Абилкайрқызы в основной своей части соответствует ОП 8D07102 – Теплоэнергетика.

3. Диссертация Акимбек Гүлмиры Абилкайрқызы посвящена экспериментальному исследованию интенсивности абразивного износа угольными частицами при изменении: размера, температуры, влажности, степени выхода летучих, скорости взаимодействия изнашивающих частиц с изнашиванием образцов разных форм в новой экспериментальной установке для исследования интенсивности абразивного износа угольными частицами. Результаты определения относительной величины абразивности угольных частиц, методика исследований влияния на интенсивность абразивного износа: скорости движения, размера частиц, угла взаимодействия угольной массы с поверхностью элементов оборудования, формы, изнашивающихся поверхностей могут быть использованы при проведении исследования интенсивности износа для других абразивных материалов. На основании результатов исследований получены 2 патента на изобретения, 1 патент на полезную модель, создана уникальная установка по определению интенсивности абразивного износа сыпучих веществ, подготовлены и опубликованы шестнадцать научных работ, из них: четыре статьи

опубликованы в изданиях, входящих в международную базу данных по цитируемости Web of Science и Scopus с высоким процентилем; три статьи опубликованы в изданиях, рекомендованных по контролю в сфере образования и науки МОН РК; семь статей опубликованы в материалах международных конференции; подготовлены методические указания для проведения лабораторных работ по дисциплине «ТЭУ» студентам 4 курса. Соискатель являлась научным руководителем проектов студенческих работ, по части исследования диссертационной работы, занявших 1 и 2 место в Республиканском конкурсе НИРС; ею получен акт внедрения в учебный процесс лабораторной работы по дисциплине «Тепловые энергетические установки». Таким образом, можно констатировать соответствие представленной диссертации требованиям МОН РК.

4. На основании вышесказанного диссертация Акимбек Гүлмиры Абилкайрқызы на тему «Разработка методов и определение относительной абразивности сыпучих веществ» рекомендуется к защите по ОП 8D07102 – Теплоэнергетика.

РЕЗУЛЬТАТЫ ГОЛОСОВАНИЯ:

Присутствовало на заседании – 10 чел.

«за» – 10 чел.

«против» – нет

«воздержалось» – нет.



Председатель заседания
Научно-исследовательского центра «Экоэнергетика 4.0»
к.т.н., директор ИШЭ ТПУ

А.С. Матвеев

Секретарь заседания Научно-исследовательского центра
«Экоэнергетика 4.0» к.т.н., доцент НОЦ И.Н. Бутакова

С.А. Янковский

РЕЦЕНЗИЯ

«Энергетикалық отындар: абразивтілік пен тозу» атты оқулық

Авторлары: Достияров А.М., Әкімбек Г.Ә., Бахтияр Б.Т.

Болашақта негізгі энергия көзі бірінші кезекте энергетикалық отын болып қала беретіндіктен, оқулықта отынды жағудың негізгі әдістері, камералық оттықтарда отынды жағуға дайындау, төмен сапалы отынды жағуға дайындық, отынмен қамдау тракті бойынша қатқан отынның өтуі кезіндегі қиындықтарды жою, аэрозольдің ағынды беттермен өз-ара әрекеттесуінің физикалық негіздері, қазандардың қыздыру беттерінің қождануы т.б. қарастырылған. Жалпы оқулық 220 бет, 20- эдебиеттер тізімі, 40қа жуық сұлбалар мен графиктен тұрады екен.

Геологиялық-барлау жұмыстарын жүргізу кезінде қабаттық-дифференциалдық сынамалар бойынша айқындалатын көмір сапасының негізгі көрсеткіштерінің бірі абразивтілік пен тозу болғандықтан жан жақты қарастырылып жазылған бұл оқулық өзекті деп санаймын.

Оқулықта, сонымен қатар, қыздырудың ағындық беттерімен аэрозольдің өзара әрекеттесуінің физикалық негіздерін қарастыру қажет, өйткені мұндай негізде, қыздыру бетінің ластануы мен күлдік тозуы секілді, күрделі үрдістерін болжау әдістемесін әзірлеуге болатыны жайында, сонымен қатар, бұл үрдістерді болжаудың негізделген әдістемелерінің болуы қазандық агрегаттарды жобалау және құрастыру кезінде отынның ерекшеліктерін (минералдық, органикалық бөліктерінің) есепке алуға мүмкіндік беретіндігі жақсы жазылған.

Оқулықта «Жылуэнергетика» мамандығы бойынша оқитын студенттер мен магистранттарға арналып жазылған екен, сондықтан баспаға ұсынуға лайықты деп санаймын.

С. Сейфуллин атындағы Қазақ
агротехникалық университетінің
Жылуэнергетика кафедрасының
менгерушісі, PhD докторы

А.К. Мерғалимова



ПРИЛОЖЕНИЕ Д

В результате международной стажировки получен сертификат и удостоверение о повышении квалификации



Национальный исследовательский
Томский политехнический университет



УДОСТОВЕРЕНИЕ
является документом
о повышении квалификации

УДОСТОВЕРЕНИЕ

О ПОВЫШЕНИИ КВАЛИФИКАЦИИ

Акимбек Гулмира Абилкайрқызы
(ИПО в еженедельном порядке)

с 27 апреля 2022 г. по 19 мая 2022 г.

Принят(а) обучение в федеральном государственном автономном
образовательном учреждении высшего образования

"Национальный исследовательский
Томский политехнический университет"

по программе "Экологически чистые технологии преобразования
энергоносителей"

в объеме 144 часов.

Регистрационный номер

ТПУ-45452

Город Томск



2022

70118 038856

01.04.2019. Томск, ИПО, 8.

Измерительные приборы внесенные в реестр СИ РК



Алматинский филиал АО "НаЦЭхС"
(наименование подразделения государственной метрологической службы или метрологической службы юридического лица)
 Аттестат аккредит №KZ.P.02.0687 от 18.11.2020 г.
(номер аттестата аккредитации)



KZ.P.02.0687

СЕРТИФИКАТ О ПОВЕРКЕ № BA10-01-05285

Камера инфракрасная портативная
наименование средства измерений (эталона)

Тип, обозначение: Flir i5 заводской № 601045787

от минус 20 °С до 250 °С
(диапазон измерений средства измерений)

Изготовитель: фирма "Flir Sistens Estonia OU", Эстония

Дата изготовления: 2013 г.

Пользователь: НАО "Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева"

Проверка проведена в соответствии: (наименование и адрес)
KZ.04.02.07400-2013 Камеры инфракрасные портативные Flir, мод. 13, 15, 17, E30, E30bx, E40, E40bx, E50, E50bx, E60, E60bx, пр. фирмы "FLIR Systems Estonia OU",
(обозначение и наименование методики поверки)

с использованием следующих средств поверки: прецизионные инфракрасные калибраторы
Fluke 4180, 4181, Venus 2140
(обозначение эталона и вспомогательного оборудования, использованного при поверке)

На основании результатов поверки средств измерений (эталон) признано годным и допущено к применению по классу +/-2,0 °С , разряду -

с учетом неопределенности измерений 1,15 °С k=2; P=0,95

Дата поверки " 13 " Апреля 2024 г. Действителен до " 13 " Апреля 2022 г.

Руководитель отдела (лаборатории)  _____
подпись

Отдел поверительного
 средства
 №01-011111
 СЛ 18 : 4255797
 ДКП: ВНИИМ.ВА

Ж.Ш.Карахожаев
инициалы, фамилия

Н.М.Асыллова
инициалы, фамилия





Алматинский филиал АО "НаЦЭКС"
(наименование подразделения государственной метрологической службы или метрологической службы юридического лица)
 Аттестат аккредит. №KZ.P.02.0687 от 18.11.2020 г.
(номер аттестата аккредитации)

KZ.P.02.0687

СЕРТИФИКАТ О ПОВЕРКЕ № BA10-01-04580

Термометр

(наименование средства измерений (эталоны))

Тип, обозначение: Fluke 52 II

заводской № 26510201WS

от минус 200°C до 1372°C

(диапазон измерений средства измерений)

Изготовитель: фирма " Fluke Corporation ",США

Дата изготовления: 201

Пользователь: Некоммерческое АО "Алматинский университет энергетики и связи имени Г.Даукеева

Поверка проведена в соответствии: (наименование и адрес)

Термометры Fluke модели 51II,52II,53II,54II пр-во фирмы " Fluke Corporation, " США МП

(обозначение и наименование методики поверки)

с использованием следующих средств поверки: термостат водяной,масляный, калибровочный термостат Fluke 7381.эталонный преобразователь термоэлектр типа ППО 1-го раз.эталонный .терм. ПТС-10,

(обозначение эталона и вспомогательного оборудования, использованного при поверке)

На основании результатов поверки средство измерений (эталон) признано годным и допущено к применению по классу согласно паспорта, разряду -

с учетом неопределенности измерений 0,5 °C при k=2; P=0,95

Дата поверки " 12 "Апреля 2021 г. Действителен до " 12 "Апреля 2022 г.

Руководитель отдела (лаборатории)

Ж.Ш.Карахожаев

Оттиск

подпись

инициалы, фамилия

поверительного
клейма

Поверитель А.Н.Капаева

подпись

А.Н.Капаева

инициалы, фамилия

СЛ 18 : 4255547

ДКП: 013.НМ.ВА





KZ.P.06.1459
VERIFICATION
LABORATORY

Атырауский филиал ТОО "Компания ECOS"
(наименование подразделения государственной метрологической службы или метрологической службы юридического лица)
№ KZ.P.06.1459 от 21.06.2019 г.
(номер аттестата аккредитации)

СЕРТИФИКАТ О ПОВЕРКЕ № NU09-AE-03-3859

Газоанализаторы Testo серии 300

(наименование средства измерений (эталоны))

Тип, обозначение: **Testo 350**

заводской № **60324583**

0-25% об.д. O₂, 0-10000 ppm CO, 0-5000 ppm SO₂, 0-3000 ppm NO, 0-500 ppm NO₂, 100-40000 ppm CH₄
(диапазон измерений средства измерений)

Изготовитель: **"Testo AG", Германия.**

Дата изготовления: **2015 год**

Пользователь: **Некоммерческое акционерное общество "Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева", г.Алматы, ул.Байтурсынулы 126/1**

Поверка проведена в соответствии: (наименование и адрес)

KZ.04.02.11038-2017 "Газоанализаторы Testo серии 300, производства фирмы «Testo AG», Германия."

(обозначение и наименование методики поверки)

с использованием следующих средств поверки: **ПГС CH₄/Air, ПГС (CO, NO, NO₂, O₂, SO₂)/N₂, ПНГ**

Бар-р М-98, Псих-рМВ-4М, Пот-р РМ-А-0,25ГУЗ, Сек-р СОПпр-2а-2-10, Терм-рTGL

(обозначение эталона и вспомогательного оборудования, использованного при поверке)

На основании результатов поверки средство измерений (эталон) признано годным и допущено к применению по классу **NO₂, O₂=±5%, CO=±10%, SO₂=±10%, NO=±10%, CH₄=±10%** в ряду
с учетом неопределенности измерений **U=O₂, NO₂=±3,3%, U=CO, SO₂, NO, CH₄=±6,7%**

Дата поверки " **03** " **Ноября** **2021** г. Действителен до " **03** " **Ноября** **2022** г.

Руководитель отдела (лаборатории)

Оттиск

поверительного

клейма

Поверитель

подпись

Ергалиев К.С.

инициалы, фамилия

Естеуов А.А.

инициалы, фамилия

СЛ (2021) : 1984029

ДКП: KZ.03.02.02791-2017.NU

ТОО «Компания ECOS»
060011, г. Атырау, пр. Ностра, 105