

АННОТАЦИЯ

диссертации, представленной на степени доктора философии (PhD)
по образовательной программе D098 – Теплоэнергетика

Әкімбек Гүлмира Әбілқайрқызы

Разработка методов и определение относительной абразивности сыпучих
веществ

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 энергетическую 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 энергетической 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,

- износ котельного оборудования, контактирующего с углем (до поступления в топку) и золой после сжигания,

- 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).

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

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

Снижение выбросов летучей золы в атмосферу и хранения отходов технологически и технически достаточно отработаны. Достаточно изучен также процесс износа оборудования летучей золой и разработаны устройства и механизмы его снижения. Уголь в качестве энергетического топлива имеет особое значение для Казахстана, в частности, около 70 процентов всей установленной энергетической мощности используют в качестве топлива уголь. В большинстве Казахстанских месторождений уголь добывается относительно дешевым, открытым способом [7].

Одним из отрицательных показателей использования углей считается абразивный износ летучей золой поверхностей, как правило, расположенных в конвективной шахте котла. Известные исследования закономерностей абразивного износа связаны преимущественно с изучением воздействия летучей золы.

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 различным 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. В большинстве Казахстанских месторождений уголь добывается относительно дешевым, открытым способом. Уголь в качестве энергетического топлива имеет особое значение для Казахстана, в частности около 70 процентов всей установленной энергетической мощности используют в качестве топлива уголь. Одним из отрицательных показателей использования углей считается абразивный износ летучей золой поверхностей, как правило, расположенных в конвективной шахте котла и других элементов, контактирующих с движущимся потоком угля (сбрасыватели угля с транспортерной ленты, бункеры сырого угля, питатели угля и другие).

Известные исследования закономерностей абразивного износа 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 абразивности летучей золы [11]. 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 золовых частиц. 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; при этом практически не рассматривалась возможность изменения размера частиц при взаимодействии с твердой поверхностью. Можно особенно подчеркнуть, что основная часть исследований проводилась с летучей золой и практически отсутствуют исследования по абразивному износу угольными частицами.

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. Однако, такие исследования практически отсутствуют.

В связи с этим было принято решение о проведении исследований по изучению абразивного износа поверхностей угольными частицами с размерами, близкими к дробленному углю.

Целью проводимого исследования является определение интенсивности абразивного износа угольными частицами при различных температурах, при различной влажности, при изменении размера, при различном объеме выделения летучих веществ, угла атаки и формы образца. А также необходимо исследовать интенсивность абразивного износа при этом опыты желательно было проводить с углем трех основных месторождений Казахстана.

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 образца мелкими частицами. 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 золовыми частицами используется только «один» раз и покидает установку. При возврате отработавших золовых частиц на повторный опыт будет иметь место два фактора искажающих их размер:

- во-первых частицы, с размерами менее определенного размера, не будут улавливаться в отделительных установках,

- во-вторых при столкновении с поверхностью образца при определенной скорости (можно назвать критической) происходит неизбежное частичное измельчение золовых частиц,

- в-третьих исключалось изучение износа летучей поверхностей, соприкасающихся с золой, отделенной от несущего потока (скруббер, удалители уловленной золы и другие).

В то время, как 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 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);

- **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 от основных параметров процесса.

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 последующим взвешиванием доли топлива на каждом сите на аналитических весах; взвешивание образца до и после опытов проводилось на аналитических весах; термическая обработка изнашивающих 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.

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.

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, Стр. 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. Scopus, Q4, 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. Scopus, Q4, percentile 25. Вклад соискателя 70%, (Scopus).

Практическая ценность.

1. Разработана методика и создана установка для определения абразивного износа угольными частицами, необходимая при проектировании теплоэнергетического оборудования. Созданная установка применима для определения абразивного износа другими сыпучими телами.

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

- ЛР №1 Исследование абразивности частиц сыпучих материалов средней фракции,

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

Получен акт внедрения в учебный процесс лабораторной работы по дисциплине «Тепловые энергетические установки».

Личный вклад автора в решении исследуемого вопроса включает:

Разработан и создан стенд и разработана методика проведения требуемых исследований с приемлемой достоверностью, выполнено исследование влияния скорости взаимодействия, размера, температуры и влажности угольных частиц, степени выхода летучих угля, формы изнашиваемых образцов на интенсивность абразивного износа угольными частицами, проведены анализ и обобщение полученных результатов, разработана схема расчета, достоверность которых подтверждена совпадением с экспериментальными данными.

Краткое содержание диссертации.

В первом разделе диссертации приведен обзор литературы по изучению процесса абразивного износа летучей золой, по исследованию основных способов 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 аэросмеси горелок.

Второй раздел посвящен описанию экспериментального стенда для исследования абразивности сыпучих материалов и выбор изнашивающего материала и образцов.

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

- контроль размера угольных частиц при различной скорости и продолжительности контакта образца с объемом угольных частиц
- определить уровень допустимого заполнения объема установки угольными частицами,
- определить приемлемый размер и материал изнашиваемого образца,
- предусмотреть возможность изменения угла установки изнашиваемого образца,
- было необходимо определить условия получения требуемого объема угля: с разной температурой, с разным уровнем выхода летучих, с разной влажностью угля, с разными размерами изнашивающих угольных частиц.

Четвертый 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 изнашиванием образцов разных форм, результаты анализа и обобщения полученных данных, составление формулы для расчета процесса абразивного износа угольными частицами.

В приложениях сведены рекомендации по использованию предлагаемой установки, патенты, акты внедрения, выписки из протокола, сертификаты, протокол за лучшую работу в НИРС РК 2022, измерительные приборы внесенные в реестр СИ РК.

В заключении диссертации обобщены результаты исследования и сформулированы основные выводы по диссертационной работе. Сформулированы 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).

Выражаю глубокую благодарность моему научному руководителю академику НАН РК, доктору технических наук, профессору Б. К. Алиярову.