

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

Федеральное государственное  
бюджетное образовательное  
учреждение высшего  
образования

**«УТВЕРЖДАЮ»**

**"Сибирский государственный  
индустриальный университет"  
(СибГИУ)**

Кирова ул., зд. 42, г. Новокузнецк,  
Центральный район,  
Кемеровская область – Кузбасс, 654007  
Тел.: (3843) 77-79-79. Факс (3843) 46-57-92  
E-mail: rector@sibsiu.ru  
http://www.sibsiu.ru

Проректор по научной и  
инновационной деятельности,  
доктор технических наук, профессор  
**Коновалов Сергей Валерьевич**



« 8 » июля 2022 г.

№ \_\_\_\_\_  
на № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

**ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ**

**на диссертационную работу Солодова Вячеслава Сергеевича на тему  
«Процесс получения твердого формованного топлива из отходов хими-  
ческих производств», представленную на соискание ученой степени кан-  
дидата технических наук по специальности 2.6.12 – химическая техноло-  
гия топлива и высокоэнергетических веществ**

**Актуальность темы диссертационной работы.**

В современных условиях к числу наиболее острых проблем для коксо-химической промышленности относятся ухудшение качества сырьевой базы коксования и дефицит коксующихся углей. Значение этих проблем еще более усугубляется нестабильностью как марочного состава поставляемых углей и угольных концентратов, так и непостоянством показателей их качества. Эти факты формируют необходимость разработки комплексных подходов оценки ресурсов химических продуктов коксования углей и шихт.

В связи с этим разработка научно обоснованного метода подбора углей для коксования с целью получения заданного количества конечных продуктов, а также экономного расхода ценных марок углей является актуальной научно-практической проблемой.

Значительная часть угля идет на производство кокса – ценного энергоносителя и восстановителя металлов. В процессе технологических операций, связанных с получением кокса, образуется коксовая пыль. Применения коксовая пыль практически не находит из-за сложности с погрузкой и транспор-

тировкой. Обычно коксовая пыль возвращается в шихту коксования в количестве 1% к массе шихты (что уменьшает объем полезной загрузки угольной шихты) или может быть переработана «на месте», путем применения различных методов уплотнения и фасовки. Из-за тонкодисперсного состояния и высокой зольности, коксовая пыль не пригодна к прямому использованию в доменном производстве и энергетике.

Объемы образования коксовой пыли достаточно велики и в среднем на одном коксохимическом предприятии могут достигать 18000-20000 т/год.

Проблема утилизации коксовой пыли для коксохимиков является весьма актуальной.

Традиционные методы брикетирования, разработанные для всего спектра каменных углей, малопригодны, а в большинстве не пригодны для коксовой пыли. Коксовая пыль, в силу своего состава, характеризуемого низким содержанием гуминовых кислот, смол и битуминозных веществ, брикетируется только при добавлении дорогостоящих связующих - битумов, каменноугольной смолы и т.п., значительно увеличивающих стоимость получаемых брикетов.

В настоящее время единого научно обоснованного подхода к выбору эффективного связующего и технологического регламента производства брикетов из коксовой пыли в России нет. В связи с этим исследования процесса брикетирования коксовой пыли является актуальной научно-практической задачей.

Работа выполнена в соответствии с планами научно-исследовательских работ Кузбасского государственного технического университета имени Т.Ф. Горбачева и в рамках базовой части и проектной части государственного задания №10.782.2014К, исследования также поддержаны федеральной программой «У.М.Н.И.К.» Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере. С учетом вышеизложенного тема диссертационной работы В.С. Солодова представляется актуальной.

**Целью диссертационной работы** является разработка эффективного способа получения твердого формованного топлива из отходов химических производств – коксовой пыли со связующим.

Для достижения поставленной цели решались следующие **задачи**:

- разработка эффективного способа обогащения коксовой пыли;
- выбор связующего для получения твердого формованного топлива на основе коксовой пыли;

–выявление закономерностей изменения свойств получаемых топливных брикетов от условий их формования;

–изготовление опытной партии и испытание топливных брикетов на основе коксовой пыли со связующим в производственных условиях предприятия реального сектора экономики;

–оценка количества выбросов оксидов углерода, серы, азота при сжигании топливных брикетов на основе коксовой пыли со связующим.

**Научная новизна исследования и полученных результатов** диссертации Солодова В.С.:

1. Впервые показано, что использование метода масляной агломерации позволяет снизить зольность коксовой пыли в три раза за счет избирательной смачиваемости частиц пыли.

2. Впервые показана возможность утилизации промышленных отходов – коксовой пыли и некондиционного карбамида, за счет их уникальных свойств при взаимодействии друг с другом, с получением топливных брикетов с улучшенными эксплуатационными характеристиками.

3. В результате обработки экспериментальных данных взаимодействия коксовой пыли и карбамида впервые разработана математическая модель, позволяющая прогнозировать прочность получаемых брикетов в зависимости от применяемых технологических параметров процесса брикетирования коксовой пыли со связующим – некондиционным карбамидом.

4. Впервые показано, что при сжигании топливных брикетов, полученных из коксовой пыли и некондиционного карбамида как связующего, происходит значительное (до 50%) снижение выбросов в атмосферу твердых веществ, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, наблюдаемое за счет реализации технологии селективного некаталитического восстановления.

#### **Практическая значимость работы.**

Полученный в ходе проведения исследований опыт обогащения коксовой пыли методом масляной агломерации (Патент РФ №2468071) может быть использован на предприятиях реального сектора экономики для получения концентрата с низкой зольностью.

Проведенные промышленные испытания показали, что предложенные подходы к производству брикетов могут служить основой для их практического использования на коксохимических производствах и топливно-энергетических комплексах, что будет способствовать решению проблемы утилизации коксовой пыли.

#### **Содержание диссертационной работы и ее завершенность.**

Диссертация состоит из введения, литературного обзора, 5 глав, заключения и основных выводов, списка литературы, содержащего 167 наименований отечественных и зарубежных авторов и приложения. Объем диссертации составляет 137 стр., включая 20 рисунков и 23 таблицы. В целом диссертация имеет логичную структуру, материал изложен последовательно.

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи работы, приведены основные положения, выносимые на защиту, показана научная новизна полученных результатов и их практическая значимость, дана общая характеристика структуры работы.

**В первой главе** приведен анализ литературных источников по состоянию вопроса брикетирования углей и дисперсных материалов в мировой и отечественной промышленности и обоснованы задачи исследований. Подробно изложено значение процессов подготовки угольного топлива к окускованию. Показано, что коксовая пыль может использоваться в качестве сырья для получения качественного брикетированного топлива для энергетики и коксования.

Рассмотрены и проанализированы основные способы применения связующих материалов для брикетирования веществ. Показаны пути повышения технических характеристик брикетов, путем использования органических и неорганических связующих. На основании результатов анализа существующих технологий установлена возможность использования коксовой пыли для производства топливных брикетов и гранул с добавлением связующих веществ.

**Во второй главе** представлены характеристики использованных в исследовании материалов, описание экспериментальных установок для обогащения и брикетирования коксовой пыли, описаны методы экспериментальных исследований и обработки полученных результатов.

Для получения обогащенных коксовых концентратов коксовая пыль была обогащена на экспериментальной установке, основанной на методе масляной агломерации. После получения концентрата коксовой пыли было проведено ее брикетирование. Брикетирование осуществлялось как чистого концентрата, так и концентрата с добавлением связующего.

**В третьей главе** проведена оценка качества сырья для получения топливных брикетов, а также рассмотрен альтернативный способ утилизации коксовой пыли. Для разработанных брикетных составов (брикетов) определены следующие основные характеристики: прочность при сжатии, золь-

ность, выход летучих веществ, общее содержание серы, массовая доля влаги, высшая и низшая теплоты сгорания, прочность брикетов и др.

Для оценки качества кокса с участием коксомасляного концентрата в шихте коксования для его получения составлено несколько вариантов шихт и проведены лабораторные коксования.

**В четвертой главе** представлена разработка технологического процесса брикетирования коксовой пыли со связующим. Технологический процесс брикетирования коксовой пыли со связующим включает в себя следующие последовательно протекающие технологические стадии: подготовки коксовой пыли (обогащение методом масляной агломерации), смешения коксомасляного концентрата со связующим веществом (образование шихты), брикетирование шихты (получение брикета).

Проведены эксперименты по подбору наиболее эффективного реагента для технологии обогащения методом масляной агломерации. После обогащения коксовой пыли исследована возможность получения брикетов с добавлением связующего компонента и без него, определены их прочностные характеристики. В результате анализа полученных данных высокими качественными характеристиками обладают брикеты с добавлением связующего в виде карбамида.

В рамках данной работы выявлена зависимость прочности на сжатие от концентрации связующего компонента в виде некондиционного карбамида для топливных брикетов из коксовой пыли, полученных на установке со смесительным узлом экструдерного типа с подогревом. В ходе проведенных экспериментов установлено, что максимальная прочность брикетов достигается при 130 °С. Снижение температуры смеси при брикетировании приводит к ее загустеванию и неравномерному распределению связующего по брикету, что, в свою очередь, приводит к снижению прочности брикета. Увеличение температуры смеси до 150 °С также приводит к снижению прочности брикета, что обуславливается высокой текучестью карбамида, в связи с чем происходит худшее перемешивание.

Таким образом, для получения прочных топливных брикетов из коксовой пыли с добавлением связующего в виде некондиционного карбамида, процесс смешения необходимо проводить при температуре 130 °С.

Для определения влияния технологических факторов получения топливных брикетов из коксовой пыли на их прочность проведены исследования по плану полного факторного эксперимента.

Полученное уравнение регрессии удовлетворительно описывает зависимость прочности брикетов от давления прессования, концентрации карбамида, используемого в качестве связующего, и температуры смешивания коксовой пыли и связующего в ходе изготовления брикетов. Показано, что в области низких температур наибольшее влияние на прочность брикетов оказывают концентрация карбамида и давление прессования, которые применяются при получении брикета, а в области высоких температур наиболее сильное влияние оказывает температура, при которой происходит смешивание коксовой пыли и связующего (карбамида).

На фабрике брикетирования компании ООО «Кузбрикетуголь», используя полученные в ходе исследования рекомендации, произведено 10 т коксовых брикетов, которые испытаны при плавке чугуна в вагранке РМЦ ПАО «Кокс».

Показано, что введение до 20 % брикетов в вагранку взамен кокса не приводит к отклонению от стандартного режима плавки, а затраты на сырье при этом снижаются на 6,4 %.

**В пятой главе** показана возможность получения из коксовой пыли и некондиционного карбамида как связующего агента топливных брикетов. При их сжигании эмиссия твердых веществ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$  снижается до 50 %.

Одной из причин выбора некондиционного карбамида в виде связующего для брикетов стала возможность восстановления  $\text{NO}_x$  в процессе горения. Для проверки предположения о возможности восстановления  $\text{NO}_x$ , в процессе горения брикетов на первом этапе проведен расчет выбросов загрязняющих веществ при сжигании угля марки СС, кокса и кокса совместно с карбамидом. По результатам проведенных расчетов видно, что добавление некондиционного карбамида позволяет снизить содержание оксидов азота в дымовых газах на 40 %. Проведены эксперименты по сжиганию перечисленных выше твердых топлив в трубчатой печи с замером образующихся при этом выбросов. В печи воспроизведен процесс сжигания топлива в промышленных котлах, с постоянной температурой 1000 °С и коэффициентом избытка воздуха 1,7. Замеры содержания вредных компонентов дымового газа проводились универсальным многокомпонентным газоанализатором «ПРОТОН».

В результате проведенных экспериментов установлено, что при сжигании пробы топливных брикетов происходит снижение количества вредных компонентов дымового газа, по сравнению со сжиганием проб традиционных видов топлив, а также происходит снижение содержания  $\text{NO}_x$  в дымовых газах в результате селективного некаталитического восстановления.

**Степень обоснованности и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций.** Достоверность полученных результатов, представленных в диссертационной работе, подтверждается использованием широкого комплекса современных физико-химических методов исследований с применением аттестованных приборов и апробированных методик измерения, хорошей сходимостью экспериментальных и расчетных данных, отсутствием противоречий полученных результатов существующей теории исследуемых процессов.

**Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации.** Впервые предложен метод обогащения тонкодисперсной коксовой пыли посредством масляной агломерации, разработана технологическая схема получения брикетов из промышленных отходов. Результаты проведенных экспериментальных и теоретических исследований являются основой для разработки конструкции агрегатов и аппаратного исполнения ведения технологического процесса брикетирования. Проведенные опытно промышленные испытания, указывают на пригодность и целесообразность применения данных брикетов как в промышленных, так и в бытовых целях.

#### **Замечания и рекомендации по работе:**

1. На титуле диссертации не указан шифр и наименование научной специальности по которой представляется диссертация.
2. В табл. на стр. 52, 53, 104 и др. в диссертации в качестве десятичного разделителя целой и дробной части чисел автор использует различные знаки «.» и «,».
3. На стр. 61 автор оперирует понятием экономической целесообразности, однако каких-либо экономических расчетов не приводит.
4. На стр. 61 представлен график из которого не совсем ясно откуда получены не встречающиеся на практике зольности коксовой пыли достигающие 100 % ?
5. На стр. 83 и 90 автор указывает, что коэффициенты детерминации, полученных на основе экспериментальных данных, регрессионных уравнений составляет 1,0 что весьма сомнительно, поскольку фактически свидетельствует об отсутствии погрешностей определения параметров.
6. Судя по табл. 4.3.22, 4.3.23, 4.3.24 и рис. 4.3.1, 4.3.2, 4.3.3 в определенных интервалах расчета прочности от концентрации связующего, давления прессования и температуры смешивания погрешности достигают 50 %. В та-

ких условиях корректнее указать ограничения применения регрессионных уравнений.

7. Стр. 103 нижний абзац корректнее писать «сухую массу», а не «сухой вес».

Сделанные замечания носят рекомендательный характер и не умаляют общего положительного впечатления от рассматриваемой диссертации, как о законченной работе, выполненной на современном научно-техническом уровне.

### **Соответствие работы требованиям, предъявляемым к диссертациям.**

Результаты исследований отражены в 28 публикациях: в 10 статьях в научных журналах, входящих в перечень Web of Science, Scopus и ВАК, 13 докладах и тезисах докладов научно-практических конференций, получены 5 патентов РФ. Автореферат диссертации достаточно полно отражает основное содержание диссертации и достигнутые результаты.

По тематике исследования, методам, предложенным новым научных положениям, диссертация соответствует паспорту научной специальности 2.6.12 – Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ в пунктах: 8. Разработка новых процессов переработки органических и минеральных веществ твердых горючих ископаемых с целью получения продуктов топливного и нетопливного назначения. 12. Экологические аспекты переработки топлив. Разработка технических и технологических средств и способов защиты окружающей среды от вредных выбросов производств по переработке топлив.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Диссертация Солодова В.С. на тему «Процесс получения твердого формованного топлива из отходов химических производств», представляет собой законченную научно-квалификационную работу, выполненную самостоятельно на высоком научном уровне, на актуальную тему, в которой получены новые и важные сведения о возможности получения высокоэффективного твердого топлива с помощью научно и технически проработанной технологической схемы брикетирования коксовой пыли со связующим.

Соискатель продемонстрировал умение проводить качественное исследование углеродных материалов, а также знание и умение использовать расчетные методы.



Научные положения и выводы, сформулированные автором, не вызывают сомнений. Результаты диссертационной работы оригинальны, достоверны и отличаются научной новизной и практической значимостью. Большая часть результатов отражена в публикациях и апробирована на профильных конференциях.

Диссертация Солодова Вячеслава Сергеевича на тему «Процесс получения твердого формованного топлива из отходов химических производств» соответствует критериям и требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней» (Постановление Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Солодов Вячеслав Сергеевич **заслуживает** присуждения степени кандидата технических наук по специальности 2.6.12 – Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ.

Отзыв обсужден и одобрен на заседании кафедры теплоэнергетики и экологии протокол № 12 от «08» июля 2022 г.

И.о. заведующего кафедрой теплоэнергетики и экологии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский государственный индустриальный университет», кандидат технических наук (05.16.02 – Metallургия черных, цветных и редких металлов)

Темлянцева Елена Николаевна  
«8» июля 2022 г.

Профессор кафедры теплоэнергетики и экологии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский государственный индустриальный университет», доктор технических наук (05.16.02 – Metallургия черных, цветных и редких металлов), профессор

Темлянец Михаил Викторович  
«8» июля 2022 г.

Подписи Е.Н. Темлянцевой и М.В. Темлянцева удостоверяю



И.о. начальника отдела кадров Гнеушева Юлия Германовна

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный индустриальный университет»  
Почтовый адрес: 654007, г. Новокузнецк, улица Кирова, дом 42.  
Контактный телефон: +7 (3843) 46-35-02, факс: +7 (3843) 46-57-92. E-mail: rector@sibsiu.ru  
Официальный сайт: <http://www.sibsiu.ru>  
Темлянец Михаил Викторович, 8-3843-46-58-83, E-mail: [uchebn\\_otdel@sibsiu.ru](mailto:uchebn_otdel@sibsiu.ru)  
Темлянцева Елена Николаевна, 8-3843-74-89-16, E-mail: [kafedra-TEE@yandex.ru](mailto:kafedra-TEE@yandex.ru)

111