

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ
ТАДЖИКИСТАН
ТАДЖИКСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени академика М.С. Осими**

На правах рукописи

УДК: 66:546+662.76 (573.3)



БАХРИДДИНЗОДА ШОХИН БАХРИДДИН

**ТЕРМОЛИЗ И ГАЗИФИКАЦИЯ УГЛЯ
ФОН-ЯГНОБСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук
по специальности 2.5. Химическая технология (материалы и металлургия)
(2.5.1. Технология неорганических веществ)

Душанбе – 2026

Диссертация выполнена на кафедре «Технология химического производства» Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими

Научный руководитель:

Гайбуллаева Зумрат Хабибовна — доктор технических наук, заведующая кафедрой «Технологии производственных процессов» филиала Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими на ОАО «АЗОТ»

Официальные оппоненты:

Ходжизода Саидмукбил Косим — доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой естественнонаучных дисциплин Горно-металлургического института Таджикистана;

Ашурзода Наимджон Амонкул — кандидат технических наук, доцент, начальник управления образования Государственного образовательного учреждения «Бохтарский государственный университет имени Носира Хусрава».

Ведущая организация:

Государственное учреждение «Научно-исследовательский институт металлургии» Открытого акционерного общества «Таджикская алюминиевая компания».

Защита состоится «1» апреля 2026 года в 9.00 часов на заседании объединенного диссертационного совета 6D.КАО-042 при ГНУ «Институт химии имени В.И.Никитина НАНТ и Агентства по ХБРЯ безопасности НАНТ по адресу 734063, г. Душанбе, ул.Айни,299/2, E-mail f.khamidov@mail.tj, тел.+992 934 366 463.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ГНУ «Институт химии имени В.И. Никитина» НАН Таджикистана, www.chemistry.tj

Автореферат разослан « ____ » _____ 2026 года

Учёный секретарь диссертационного совета,
кандидат технических наук



Хамидов Ф.А

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Одна из главных проблем современности и ближайшего будущего является обеспечение страны достаточным количеством энергии. Проблема эта довольно острая, имеющая не только технический, но и социально-экономический характер. Её надо решать в рамках нескольких противоречивых проблем, включающих индустриализацию экономики, сохранение чистоты атмосферы, обеспеченности потребности экономики в эффективном энергоносителе, желательно доступного и дешёвого. Решение проблемы энергообеспечения экономики страны требует комплексного подхода, но с ориентиром на использование местных сырьевых ресурсов.

Наша страна покупает природный газ и нефтепродукты из соседних стран Центрально - Азиатского региона и расходует на это большие финансовые ресурсы. Природный газ, помимо своего энергетического использования, также применяется в промышленном секторе для получения водорода в производстве аммиака на ОАО «Азот». Обычно в зимний период подача импортного природного газа уменьшается и данное предприятие простаивает и становится сезонным производством. Поэтому возникает необходимость решать данную проблему использованием взамен природного газа другого местного энергоносителя, т.е. угля. В промышленности широко известен способ газификации угля для получения газовых энергоносителей. Следовательно, преобразование энергии твердого топлива в энергию газовых энергоносителей путем его газификации может быть альтернативным способом замены использования дорогого природного газа на предприятиях страны.

Национальная стратегия развития Республики Таджикистан на период до 2030 года, определяет цели и задачи по развитию экономики страны, включая обеспечение энергетической независимости и ускоренную индустриализацию, что связана с развитием промышленности. Одним из приоритетных секторов экономики определено развитие угольной промышленности. Рост интереса к углю, как безальтернативному энергоносителю, особенно в условиях Таджикистана из-за отсутствия добычи природного газа и нефти, вызван относительно низкой стоимости и высокой распространенности его месторождений в регионах страны.

Развитие индустриализации экономики страны требует создания новых предприятий по переработке минерального и органического сырья. При этом растущая потребность в энергоносителях, увеличение стоимости их производства и усиление экологических проблем обуславливают актуальность разработки экологически чистых, комплексных и рациональных технологий получения энергоносителей из угля с созданием мало- и безотходных производств, что внесёт существенный вклад в развитие промышленности. Значимой задачей является трансформация политики энергообеспечения промышленных производств, которую можно решить отказом от традиционного прямого сжигания угля в пользу современных экологически чистых технологий его использования. Решение поставленного научно-технического вопроса заключается в использовании процессов конверсии и газификации угля, позволяющих преобразовать твердое топливо в газообразные энергоносители (CO, H₂, CH₄) и другие химические продукты. Поскольку, в настоящее время в Таджикистане объём использования угля Фон-Ягнобского месторождения значительно преобладает над количеством использования угля из других месторождений, поэтому данное исследование проведено с использованием угля указанного месторождения.

Степень научной разработанности изучаемой проблемы. Научные представления о термическом разложении угля начали формироваться в конце XVIII – начале XIX века и получили развитие в работах отечественных и зарубежных исследователей [1–6]. Во второй половине XIX – начале XX века, с развитием газового освещения, металлургии и энергетики, изучались методы переработки угля при нагревании и его превращении в газ, а также сформировались представления о том, как уголь взаимодействует с веществами, применяемыми для этого процесса [7–17]. Существенный вклад в развитие концепции комплексной технологической переработки угля с получением газообразных, жидких и твёрдых продуктов внесли Д. И. Менделеев, В. И. Вернадский, И. М. Губкин и Н. Н. Семёнов [7–10]. Во второй половине XX века получили развитие систематические экспериментальные исследования

термолиза и газификации углей различного ранга, направленные на обоснование оптимальных технологических режимов процессов. В этих работах изучено влияние температуры, скорости нагрева, состава газовой среды и природы газифицирующих агентов (водяной пар, диоксид углерода, воздух) на кинетику процессов и выход целевых продуктов [11–18]. Установлено, что эффективность технологических процессов термической переработки в значительной степени определяется петрографическим составом и структурными особенностями органической и минеральной частей угля [17–31].

Отдельное направление исследований связано с углями Таджикистана, отличающимися значительным разнообразием генетических и физико-химических характеристик, что определяет перспективы их использования в процессах термолиза и газификации [19–21, 27, 31, 32]. Вместе с тем угли Фон-Ягнобского месторождения изучены преимущественно с геологоразведочной и топливно-энергетической точек зрения [33–42], тогда как вопросы их технологической переработки методами термолиза и газификации остаются недостаточно исследованными. Это определяет актуальность настоящей диссертационной работы и необходимость проведения комплексных экспериментальных и теоретических исследований, направленных на научное обоснование рациональных технологий переработки углей месторождения Фон-Ягноб.

Связь исследования с программами (проектами) и научной тематикой заключается в его соответствии ключевым государственным стратегическим документам Республики Таджикистан. Исследование согласуется с Концепцией развития угольной отрасли Республики Таджикистан на период до 2040 года (утверждена постановлением Правительства Республики Таджикистан от 30 августа 2019 г. № 436), Стратегией развития «зелёной» экономики на 2023–2037 годы (утверждена постановлением Правительства Республики Таджикистан от 30 сентября 2022 г. № 482), предусматривающей внедрение экологически безопасных и энергоэффективных технологий в угольной промышленности, а также с положениями Национальной стратегии развития Республики Таджикистан до 2030 года, включающей Программу ускоренной индустриализации на 2020–2025 годы (утверждена постановлением Правительства Республики Таджикистан от 30 сентября 2016 г. № 501).

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью исследования является разработка комплексных технологий переработки угля месторождения Фон-Ягноб для получения энергетических и технологических газов, а также всех сопутствующих продуктов и материалов.

Задачи исследования. Поставленная цель достигается решением следующих задач:

- определением вещественного и элементного состава исследуемых проб угля Фон-Ягнобского месторождения;
- проведением кинетического исследования процесса термолиза угля Фон-Ягнобского месторождения для определения температурной зависимости и скорости выделения летучих и смолистых компонентов из состава угля и минеральных веществ;
- разработкой способа выделения и конденсации летучих и смолистых веществ состава угля Фон-Ягнобского месторождения;
- разработкой технологии газификации пластифицированного углерода и определения оптимальных параметров получения энергетических и технологических генераторных газов;
- проведением исследования процесса восстановления оксидных веществ пирометаллургического способа переработки свинцово-цинкового концентрата энергетическими генераторными газами;
- разработкой двухступенчатой конструкции реактора-газогенератора для получения пластифицированного углерода и его газификации;
- разработкой технологии газификации угля с применением двухступенчатого реактора-газогенератора.

Объектами исследований являются:

- уголь месторождения Фон-Ягноб (Таджикистан) и его составляющие компоненты;

- многокомпонентная газовая система, состоящая из водорода (H₂), кислорода (O₂), азота (N₂), окиси углерода (CO), двуокиси углерода (CO₂), паров воды (H₂O), воздуха и др.;
- минерально-вещественный состав углей;
- полиметаллические концентраты руд Кони Мансурского месторождения (Республика Таджикистан);
- комплекс химических соединений, используемых в аналитических и лабораторных исследованиях.

Предметами исследований являются:

- исследование физико-химических характеристик угля Фон-Ягнобского месторождения Республики Таджикистан;
- определение теплотворности проб угля Фон-Ягнобского месторождения в зависимости от его состава;
- осуществление термолиза угля и исследование кинетики выделения компонентов его состава;
- анализ химического состава выделяемых веществ состава угля при его термолизе;
- осуществление совместного термолиза угля Фон-Ягнобского месторождения и газификации оставшегося после термолиза углерода для установления технологических параметров безотходной переработки угля в производствах материалов и тепла;
- анализ составов генераторного газа и определение его теплотворности;
- исследование по использованию генераторного газа угля Фон-Ягнобского месторождения в качестве восстановительного реагента продуктов пирометаллургической переработки полиметаллических концентратов руд месторождений Кони Мансур с составом, мас. %: Pb - 45,56; Zn - 4,01; Fe - 20,55; Cu - 2,03; S - 21,78; Si - 3,78; Al - 1,29;
- разработка конструкции двухступенчатого газогенератора для совмещенного термолиза угля и газификации углерода;
- анализ и обобщение результатов исследования составов и свойств угля, параметров технологии газификации угля и определения оптимальной технологии газификации угля Фон-Ягнобского месторождения.

Научная новизна исследования:

1. Проведены термолиз и термогравиметрический анализ угля Фон-Ягнобского месторождения с выделением летучих и смолистых веществ и получением пластифицированного углерода. Выяснено, что: выделение летучих и смолистых веществ происходит при температурах 90-500 °С, а пластифицированный углерод образуется при температурах 650-700 °С. Конденсация каждого компонента состава газообразных летучих и смолистых веществ происходит при обратном температурном градиенте его выделения, что позволяет превращать его в жидкое состояние для дальнейшего использования согласно его составу; при проведении термического анализа в окислительной атмосфере начало выделения летучих веществ фиксируется при более низких температурах, чем в инертной среде аргона. Это свидетельствует о повышенной реакционной способности угольной массы в присутствии кислорода. Максимальная скорость убыли массы наблюдается в интервале температур 420-440 °С, что соответствует наиболее интенсивной стадии окислительно-деструктивных превращений органической части угля. Повышение скорости нагрева угля способствует увеличению интенсивности выхода летучих компонентов. В условиях инертной атмосферы (аргон) данный процесс протекает на протяжении всего температурного диапазона нагрева угля, тогда как в окислительной среде завершение выгорания угля происходит при температуре около 600 °С; окисление углерода кислородом протекает согласно механизму гетерогенных реакций с образованием промежуточного оксида C₂O₄ с энергией активации образования и разложения соответственно E₁ = 180 кДж/моль и E₂ = 197 кДж/моль.

2. Разработана рациональная технология газификации угля, основанная на выделении летучих и смолистых веществ и последующей газификации пластифицированного углерода, которая позволяет: использовать полученный углерод в качестве восстановителя металлов либо газифицировать его в смеси с кислородом и водяным паром для получения генераторного газа

состава $\text{CO}:\text{H}_2 = 1:1$; конвертировать оксид углерода состава генераторного газа с эквивалентным увеличением количество H_2 и абсорбционным выделением диоксида углерода получить чистый водород; пластифицированный углерод, смесь CO и H_2 и чистый H_2 могут быть использованы как активные химические вещества в металлургии и химической промышленности и как эффективные энергоносители в производствах тепла (энергии); при использовании 270 кг H_2 , полученного газификацией 1000 кг угля Фон-Ягнобского месторождения по разработанной технологии, в качестве восстановителя можно извлекать 27, 972 т свинца Pb из 32, 3 т минерала галенита PbS месторождения Кони Мансур.

3. Разработана конструкция двухступенчатого газогенератора угля, позволяющая в одном устройстве получать углерод (C) и летучие и смолистые вещества, газифицировать углерод (C) с получением генераторного газа и золу, использовать тепло горячего генераторного газа и золы угля для получения водяного пара, используемого для газификации углерода. Двухступенчатый газогенератор является компактным с наименьшими материальными и энергетическими потребностями и не имеет выбросов, загрязняющих окружающую среду.

Теоретическая и научно-практическая значимость исследования.

Теоретические концепции и экспериментальные результаты термолитиза и газификации угля взаимосвязаны между собой и характеризуются выделением летучих и смолистых веществ из состава угля при нагревании с образованием пластифицированного углерода. Конденсация каждого компонента состава газообразных летучих и смолистых веществ происходит при обратном температурном градиенте его выделения, что позволяет превращать его в жидкое состояние для дальнейшего использования согласно его составу в соответствующих химических производствах.

Результаты исследования используются при расчетах и составлении моделей термолитиза и газификации углей различных модификаций. Практическая значимость результатов работы:

- внедрение результатов исследования в энергетических и промышленных предприятиях страны позволят переработать уголь по комплексным безотходным технологиям и получить чистый углерод, энергетический и технологический газ, золу угля, компонентов состава летучих и смолистых веществ, что является высокоэффективным производством без выбросов в окружающую среду;
- выделяемые летучие и смолистые компоненты угля служат сырьём для производства различных материалов;
- зола, образующаяся при сжигании угля, используется в качестве добавок при производстве цемента и других вяжущих материалов отрасли строительных материалов, а также может использоваться как оксидные соединения при целевом извлечении;
- энергетический генераторный газ представляет собой эффективный энергоноситель, применяемый в химической промышленности, энергетике, металлургии и ряде других отраслей народного хозяйства;
- состав материалов генераторного газа определяют его применение в качестве исходного сырья для синтеза аммиака (NH_3) и минеральных удобрений для агропромышленного комплекса;
- использование двухступенчатого реактора-газогенератора для газификации угля снижает материально-энергетические затраты и улучшает управление технологическим процессом переработки угля;
- результаты исследования имеют не только научно-техническую ценность, но и экологическую ценность ввиду использования безотходных технологий переработки угля.

Основные положения, выносимые на защиту:

- комплексные и безотходные технологии газификации угля для получения энергетических комплексные и безотходные технологии газификации угля для получения энергетических и технологических газов и всех сопутствующих веществ процесса переработки угля и научно-технические результаты, способствующие повышению эффективности получения из угля высоко теплотворных энергоносителей;

- современные подходы к переработке угля для получения газов, применяемых в производстве химических соединений;

- комплексное технологическое решение для получения и газификации углеродсодержащих материалов в совмещённом реакторе-газогенераторе.

Степень достоверности результатов обоснована корректным выбором темы исследования, результатами проведённых экспериментов и достаточным объёмом исследовательских материалов. Она подтверждается их воспроизводимостью при реализации различных вариантов переработки угля по разработанным технологиям, использованием современных методов исследования и точных приборов для измерения параметров состава и свойств исследуемых веществ, а также применением надёжных методов обработки полученных результатов.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Область научной работы согласуется с направлением, соответствующее паспорту специальности 2.5. Химическая технология (материалы и металлургия) (2.5.1. Технология неорганических веществ) по пунктам:

Пункт 1. Производственные процессы получения неорганических продуктов: соли, кислоты и щёлочи, минеральные удобрения, изотопы и высокочистые неорганические продукты, катализаторы, сорбенты, неорганические препараты. В диссертационной работе рассмотрены и разработаны технологические процессы получения неорганических продуктов при комплексной переработке угля Фон-Ягнобского месторождения, включая получение чистого углерода, генераторного газа и его компонентов, золы угля с установленным оксидным составом, летучих и смолистых веществ, а также определены составы концентратов, пригодных для использования в технологических схемах получения неорганических продуктов.

Пункт 2. Технологические процессы (химические, физические и механические) изменения состава, состояния, свойств, формы сырья, материала. В работе исследованы химические и физико-химические процессы термолитиза и газификации угля, сопровождающиеся изменением состава, фазового состояния и свойств сырья, а также определены температурные интервалы протекания основных стадий этих процессов.

Пункт 3. Способы и процессы защиты окружающей среды от выбросов производств неорганических продуктов, утилизация и обезвреживание неорганических производственных отходов. В диссертации разработаны и обоснованы способы снижения экологической нагрузки при переработке угля за счёт реализации технологии с утилизацией летучих и смолистых веществ, использованием золы угля и процессов получения генераторного газа с минимизацией вредных выбросов. Рассмотрены методы обезвреживания неорганических производственных отходов.

Пункт 4. Способы и средства разработки, технологических расчётов, проектирования, управления технологическими процессами и качеством продукции применительно к производственным процессам получения неорганических продуктов. В работе разработана конструкция двухступенчатого реактора-газогенератора, выполнены технологические расчёты процессов термолитиза и газификации угля, а также сформулированы методы управления тепловыми и материальными потоками. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании и оптимизации технологических процессов получения неорганических продуктов и энергоносителей.

Личный вклад соискателя заключается в определении научного направления исследования, формулировании цели и задач работы, обосновании и выборе методических подходов, выполнении экспериментальных исследований, обработке и анализе полученных данных, установлении закономерностей и механизмов протекания химических процессов, подготовке научных публикаций, участии в научных и научно-практических конференциях, а также в самостоятельном оформлении и написании диссертационной работы.

Апробация и реализация результатов диссертации. Основные материалы диссертационной работы представлялись и обсуждались на: республиканской научно-практической конференции «Инновационное развитие науки» (г. Душанбе, Таджикистан, Центр исследований инновационных технологий НАНТ, 10 декабря 2020); республиканской научно-практической конференции «Тепловая энергетика и теплофизические свойства веществ» (г. Душанбе, Таджикистан, Таджикский технический университет им. акад. М.С. Осими. 27-28

август, 2021); V международной научной конференции студентов, магистрантов, аспирантов «Вопросы физической и координационной химии» (г. Душанбе, Таджикистан, Таджикский национальный университет, 15-16 ноября 2021); III международной научно-практической конференции «Роль женщин-учёных в развитии науки, инноваций и технологий» (24-26 август 2022, - г. Гулистан, Таджикистан), XIII Международной теплофизической школы «Теплофизика и информационные технологии» (г. Душанбе, Таджикистан, на базе ИВП, ГЭиЭ НАНТ и ТТУ им. акад. М.С. Осими. 17-20 октября 2022); XV Международной конференции «Металлургия цветных, редких и благородных металлов» имени члена- корреспондента РАН Г.Л. Пашкова (г. Красноярск, Россия, 6-8 сентября 2022); международной научно-практической конференции «Теплоэнергетика и теплофизические свойства веществ», посвященная объявлению 2020-2040 годов двадцатилетием изучения и развития естественных, точных и математических наук в сфере науки и образования (г. Душанбе, Таджикистан, ТТУ им. акад. М.С. Осими, 27-28 ноября 2023); юбилейной XX международной научной конференции студентов, аспирантов, молодых ученых «Перспектив свободный-2024» (г. Красноярск, Сибирский федеральный университет, 15-20 апреля 2024); XII международном конгрессе и выставке «Цветные металлы и минералы» (г. Красноярск, Россия, 9-13 сентября 2024); на техническом совете Открытого Акционерного Общества «Азот» (г. Сарабанд, Таджикистан, 18 сентября 2025).

Публикации по теме диссертации. По теме диссертационной работы опубликовано 20 статей в отечественных и зарубежных изданиях. Из них 8 статей опубликованы в журналах, рекомендованных перечнем рецензируемых научных изданий ВАК при Президенте Республики Таджикистан, 9 статей представлены и апробированы на международных и республиканских конференциях, семинарах и форумах.

По итогам проведенных исследований получены три патента на изобретение, в том числе два малых патента Республики Таджикистан и один Евразийский патент.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики исследования, пяти глав, заключения, выводов, списка использованной литературы, включающего 136 наименований. Диссертационная работа изложена на 149 страницах, включает 21 таблиц, 40 рисунков и приложений в объеме 7 страниц.

ОСНОВНЫЕ ЧАСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Во введении представлено обоснование актуальности темы, сформулированы цель и задачи исследования, определена его научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

В первой главе рассмотрены литературные источники, содержащие сведения о составе и свойствах угля, методах его переработки, применяемом оборудовании, составах газовых смесей, используемых для производства материалов и в качестве энергоносителя, а также определены задачи диссертации.

Во второй главе приведены характеристики состава Фон-Ягнобского месторождения, описаны методы исследования процессов термолитиза и газификации угля с применяемыми приборами и оборудованями.

В третьей главе приведены результаты изучения процессов термолитиза угля с использованием трубчатой печи, термогравиметрического анализа угля в инертной (Ar) и окислительной среде (смеси O₂/N₂) и результаты изучения кинетики окисления углерода, полученного в процессе термолитиза угля кислородом, а также материально-теплого баланса процесса газификации угля.

В четвертой главе приведены результаты исследования по разработке технологической схемы газификации угля с многофункциональным назначением, изучения процессов восстановления сульфидов металлов при участии водорода, полученного газификацией угля, а также описана разработанной конструкции двухступенчатого совмещенного реактора-газогенератора для оптимального осуществления процесса переработки угля и его газификацию.

В пятой главе проведено обсуждение полученных результатов исследований. Проанализированы основные закономерности, выявленные в ходе работы и уделено внимание интерпретации полученных данных и их практической значимости.

Технологическая характеристика исследуемых проб угля Фон-Ягнобского месторождения

При огромном запасе угля в Таджикистане результаты исследования свойств угля разных месторождений, даже для угля Фон-Ягнобского месторождения, являются недостаточными для обоснования современных рациональных направлений использования угля.

Общепринятые методики применялись при анализе угольных образцов. Низкотемпературную экстракцию проводили спиртобензольной смесью в соотношении 1:1 по методике Грефе на протяжении 3 часов. Для проведения химического анализа золы пробу прокальвали в муфельной печи при температуре 850°C в течении 3 часов. Элементный состав органической части угля определяли с помощью методов элементного анализа. Сводные данные о составе и свойствах исследованных углей приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1. - Характеристика качества углей месторождения Фон-Ягноб

Проба	Состав угля, мас. %				Теплотворность угля, кКал/кг	
	W	A	V	S	высшая, Q _в	низшая, Q _н
1	5,2	23,18	31,6	0,17	6250	6000
2	2,9	20,8	20,7	1,6	7090	6510
3	4,0	23,1	14,4	6,75	7980	7120

Таблица 2. - Химический состав проб угля месторождения Фон-Ягноб

Проба угля	Элементный состав, %			Н/С	О/С	Функциональный состав ОМУ, мг-экв/г			Выход спиртобензольного экстракта, %
	С	Н	О+N			СООН	ОН	СО	
1	75,4	5,54	19,06	0,61	0,31	0,55	1,10	1,04	5,0
2	84,6	4,20	11,20	0,50	0,12	0,10	0,19	0,40	3,3
3	86,8	4,7	8,50	0,85	0,18	0,01	0,54	0,28	2,5

Определение неорганических составляющих угольного сырья требует детального изучения комплексности в использовании и переработки угля, внедрении малоотходных и безотходных технологий его переработки, а также обеспечении экологической безопасности. Важным направлением в решении технологических и экологических задач является также определение содержания неорганических макроэлементов в самом угле и в продуктах его сгорания – золе. Результаты анализа химического состава золы исследуемых углей приведены в таблице 3.

Таблица 3. – Химический состав золы углей Фон-Ягнобского месторождения

Проба угля	Содержание оксидов в составе золы, мас. %									I ₀
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	
1	72,1	14,4	9,5	2,2	0,2	0,3	0,3	0,8	0,2	0,15
2	60,2	5,3	16,5	6,4	5,6	0,2	2,2	2,2	1,4	0,50
3	50,4	25,9	5,3	6,8	5,2	0,7	1,0	4,0	0,7	0,23

Приведённые характеристики состава и свойств угля Фон-Ягнобского месторождения показывают, что он является слабоспекающимся и по технологическим характеристикам может быть использован для газификации и получения генераторного газа, синтез газа, восстановительного и энергетического газов и других веществ.

Термолиз угля Фон-Ягнобского месторождения для выделения летучих веществ его состава и получения пластифицированного углерода

Предложены технологии газификации угля, сущность которых заключается в том, что фактически не уголь газифицируется, а углерод его состава, полученного предварительным термолизом угля при температурах выделения всех летучих и смолистых веществ из его состава.

Газификация чистого углерода позволяет получить генераторный газ, использование которого в качестве энергоносителя способствует исключению выбросов диоксида углерода в атмосферу.

Термолиз угля с использованием трубчатой печи

Для проведения процесса термолиза преимущественно использовалась проба угля данного месторождения со следующим средним составом (масс. %): С – 81,0; Н – 5,2; N – 1,0; O – 2,0; S – 1,4; зола – 5,3; влажность угля – 4,0; содержание летучих веществ 0,98 %; содержание смолы 4,5 %. При нагревании до температуры 550 °С из состава угля были выделены летучие и смолистые компоненты, состав которых впоследствии подвергался анализу. Численные значения выхода продуктов состава угля при его термическом разложении отражают кинетику процесса термолиза угля.

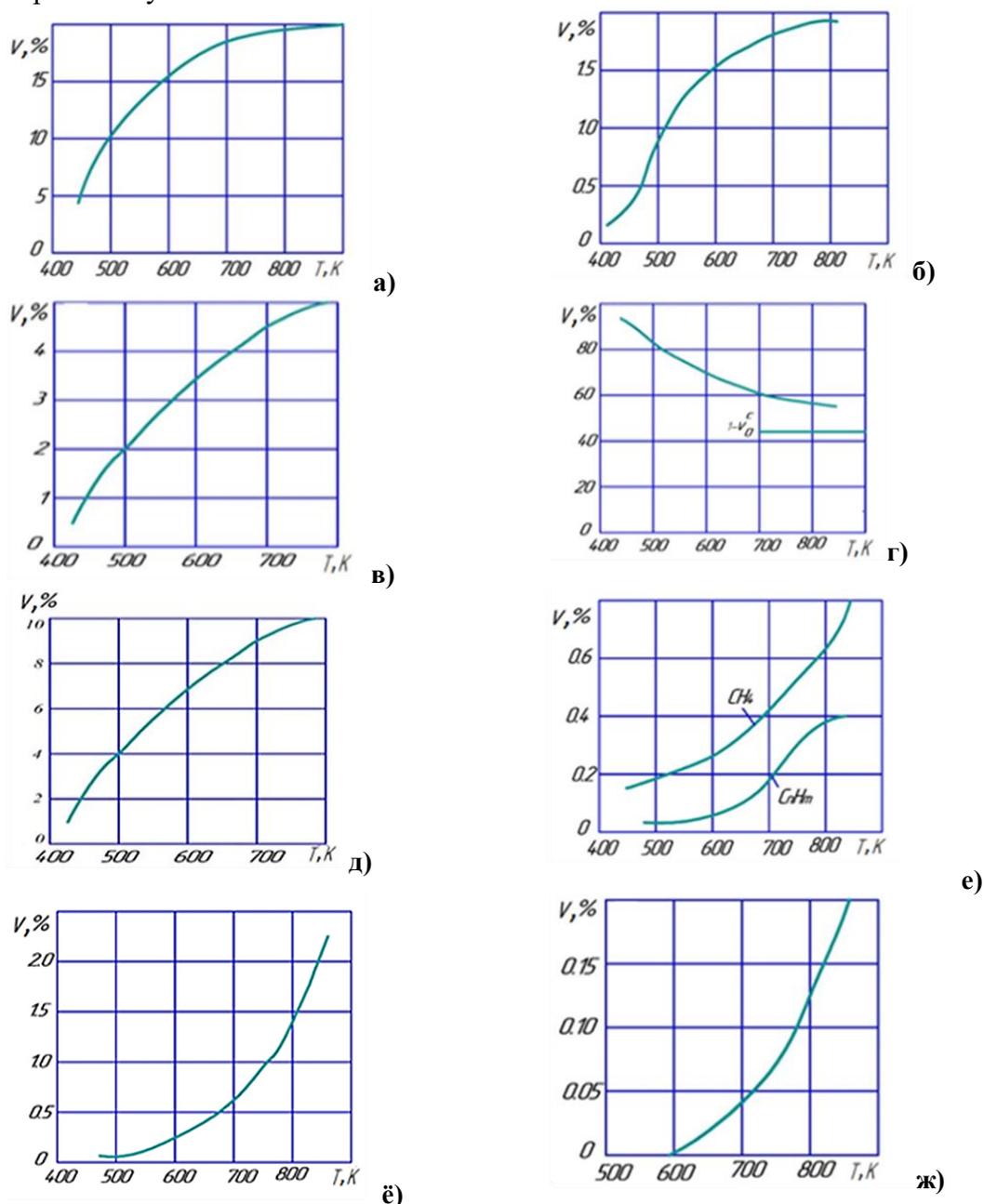


Рисунок 1. - Зависимости выхода летучих веществ от температуры нагрева пробы угля месторождения Фон Ягноб для: а) воды; б) кислот; в) смолы; г) полукокса; д) CO₂; е) CH₄ и C_nH_m; ё) CO; ж) H₂

Зависимости скорости выделения летучих веществ от температуры нагрева пробы угля месторождения Фон Ягноб для воды; кислот; смолы; полукокса; CO₂; CH₄ и C_nH_m; CO; H₂ приведена на рисунке 1.

В качестве основных характеристик исследуемых проб угля отмечены показатели: потери массы образцов в пределах отличающихся температурных интервалах; максимальная температура нагрева угля $T_{\text{макс.}}$; максимальная скорость выделения летучих веществ $V_{\text{макс.}}$; а также константа скорости реакции выделения летучих веществ $K_{\text{макс.}}$, соответствующая наибольшей скорости потери массы пробы. Дополнительно определялись предэкспоненциальный множитель K_0 и энергия активации E , относящиеся к основным стадиям термического разложения угля. В результате исследования кинетики термического разложения угля Фон-Ягнобского месторождения, были получены следующие значения: $V_{\text{макс.}}=31,0\%$; $E=30,6$ мДж/моль; $K_0=14,2$ с⁻¹.

Знание элементного состава летучих продуктов процесса термолитза имеет важное значение. В частности, содержание углерода и водорода, а также суммарного выхода летучих веществ в зависимости от атомного соотношения водорода к углероду (H/C) в их составе. На рисунке 2 представлена зависимость объёмного выхода летучих веществ (V, %) от соотношения (H/C), а также на рисунке 3 показана зависимость выхода углерода (C, %) от того же параметра в составе летучих компонентов.

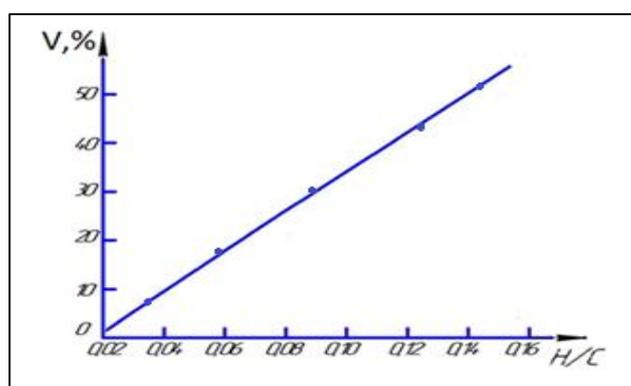


Рисунок 2. - Зависимость объёма выделяемых летучих веществ от соотношения содержания водорода и углерода в их составе

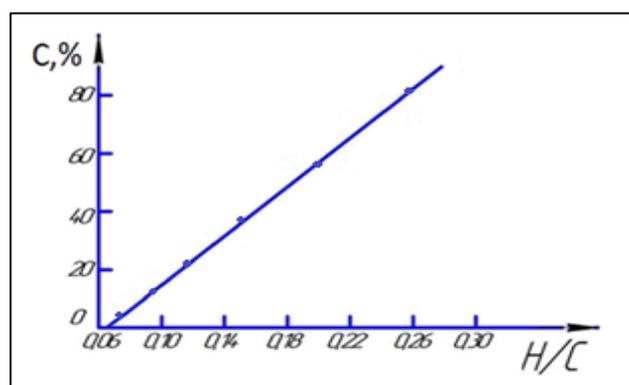


Рисунок 3. – Взаимосвязь между содержанием C и H/C в составе летучих продуктов

Зависимость между содержанием водорода и углерода в составе летучих продуктов имеет линейный характер. Кроме того, были исследованы характеристики летучих веществ, зависящие не от атомного соотношения водорода к углерода в пробе, а от топливного коэффициента угля β .

На рисунках 4 и 5 представлены зависимости относительных содержаний углерода и кислорода в составе летучих веществ от значения топливного коэффициента угля β , рассчитанные на основе соответствующих формул:

$$C/V = 190\beta + 25 \quad (1), \quad O/V = 66 - 220\beta \quad (2)$$

где: C-содержание углерода; O-содержание кислорода; V-объём летучих веществ угля; β -топливный коэффициент угля.

Зависимость значений теплоты сгорания летучих веществ состава угля (Q, мДж/кг) от значения топливного коэффициента β является важным при оценке энергетического потенциала

угля и его пригодности в качестве энергоносителя. Эта зависимость, описывается эмпирической формулой:

$$Q = 105 \beta + 33 \quad (3)$$

где: Q – теплота сгорания летучих веществ, выраженная в мДж/кг;

β – тепловой коэффициент, отражающий соотношение горючих компонентов в составе летучих веществ.

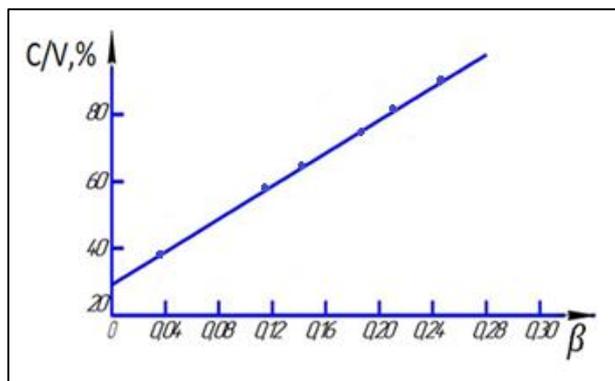


Рисунок 4. - Относительное содержание углерода в летучих веществах

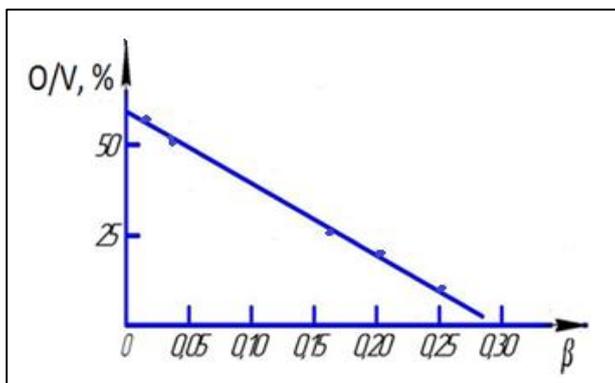


Рисунок 5. - Относительное содержание кислорода в летучих веществах

На рисунке 6 графически представлена указанная зависимость, демонстрируя линейную связь между β и Q . Из графика видно, что с увеличением значения топливного коэффициента наблюдается пропорциональное увеличение теплоты сгорания, что подтверждает важность данного параметра при энергетической оценке углей. В формуле (3) значение топливного коэффициента для угля Фон-Ягнобского месторождения рассчитана согласно формуле:

$$\beta = 2,35 (H+O/8)/(C+S +0/375) \quad (4)$$

где H , O , C , S - соответственно содержание водорода, кислорода, углерода и серы в составе летучих веществ угля.

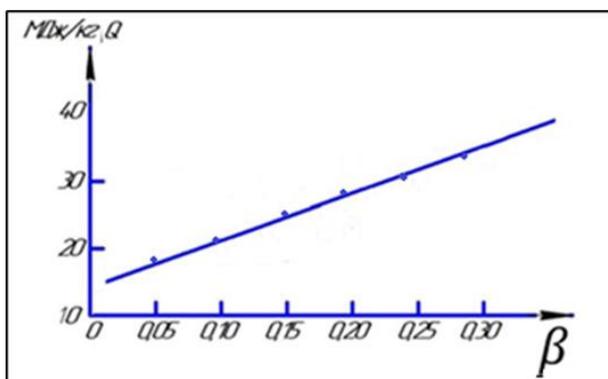


Рисунок 6. - Зависимость значений теплоты сгорания летучих веществ от значения топливного коэффициента угля

При нагреве исследуемой пробы происходит разрыв химических связей в структуре составляющих компонентов угля, что приводит к образованию конечных продуктов разложения.

Процесс разрушения угля или выделения летучих веществ может быть описан уравнением реакции первого порядка: $d(V/C)/dt = K(1-V/C)$ (5)

где V – количество выделяемых веществ при нагреве угля за время t ; t – время термообработки угля; C – общее количество веществ, выделяемых при полном разрушении связей веществ состава угля, ($0 \leq V \leq C$); K – константа скорости реакции выделения летучих веществ. Значение константы скорости реакции рассчитывается на основе уравнения Аррениуса:

$$K = K_0 \cdot e^{-E/(RT)}, \quad (6)$$

где: K_0 – предэкспоненциальный множитель константы скорости реакции; E – энергия активации процесса выделения летучих веществ; R – универсальная газовая постоянная; T – температура в Кельвинах. Определение суммарного количества летучих веществ, выделяющегося к моменту времени t по формуле (5), не может полностью определить сложный процесс разложения летучих компонентов при нагреве угля, данная зависимость отражает совокупную кинетику процесса, устанавливая связь с ключевыми параметрами термообработки: температурой и временем. Она была использована в настоящем исследовании при анализе кинетики нагрева угля Фон-Ягнобского месторождения, состав которого приведён выше. Были определены следующие кинетические данные: $V_{\text{макс.}} = 31,0 \%$; $E = 30,6$ мДж/моль; $K_0 = 14,2$ с⁻¹.

Термогравиметрический анализ пробы угля Фон-Ягнобского месторождения

Термогравиметрический анализ угля представляет собой метод исследования, в котором фиксируется изменение массы пробы угля в процессе её термической деструкции. Приборы TGA позволяют с высокой точностью контролировать изменение массы и температуры навески. Термогравиметрическим способом исследовали выход летучих веществ из состава пробы угля Фон-Ягнобского месторождения. Экспериментальные исследования проводились на термогравиметрическом анализаторе Labsys Evo в условиях неизотермического нагрева со скоростью 5 и 10 °C/с. Масса пробы составила 10 мг, а средний размер частиц – 150 мкм.

На рисунках 7 и 8 представлены исходные кривые угольных образцов в атмосфере инертного аргона и в атмосфере газовой смеси кислорода и азота.

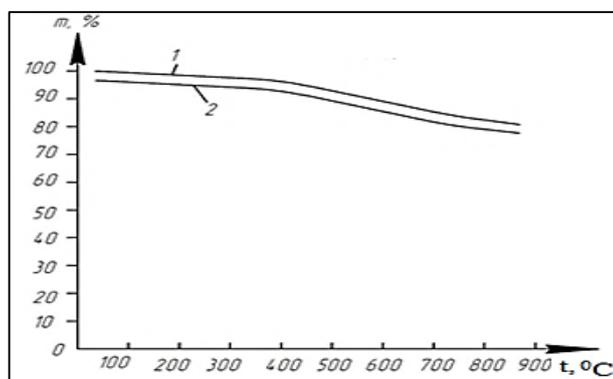


Рисунок 7. - График изменения массы угля в зависимости от температуры в атмосфере инертного аргона при скоростях нагрева пробы: 1- 5 °C/с; 2- 10 °C/с

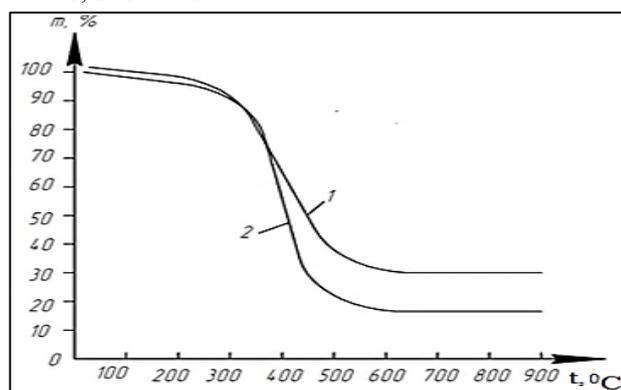


Рисунок 8. - График изменения массы угля в зависимости от температуры в газовой смеси кислорода и азота при скоростях нагрева пробы: 1- 5 °C/с; 2- 10 °C/с

Графики, представленные на рисунках 7 и 8, позволяют оценить технические свойства угля. В атмосфере, содержащей смесь O_2 и N_2 , остаточная масса пробы соответствует зольности образца и находится в пределах, близких к значениям, полученным в результате технического анализа. Начиная с температуры $600^\circ C$, остаточная масса пробы практически не менялась, что может свидетельствовать о завершении процесса выхода летучих веществ из состава угля.

По характеру кривых нагрева пробы угля в атмосфере аргона можно определить выход летучих компонентов. Потеря массы угольной пробы при достижении температуры $900^\circ C$ составила приблизительно 30-33 %. Постепенный нагрев в ТГА приводит к меньшему выходу летучих компонентов, чем при условии быстрого нагрева в муфельной печи в соответствии с принятой методикой проведения анализа. На рисунках 9 и 10 представлены зависимости скорости снижения массы исследуемых угольных проб в атмосфере инертного газа и в газовой смеси кислорода с азотом.

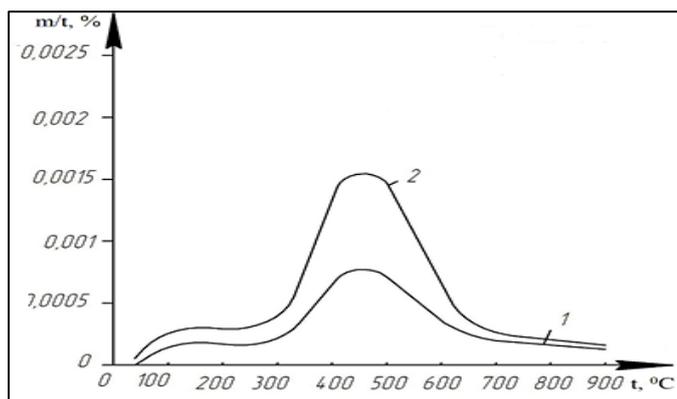


Рисунок 9. - Зависимость скорости термического разложения пробы угля от температуры в атмосфере аргона при скоростях нагрева: 1- $5^\circ C/c$; 2- $10^\circ C/c$

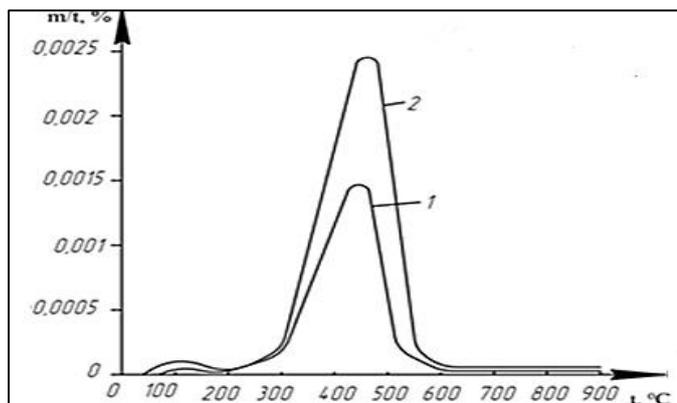


Рисунок 10.– Зависимость скорости термического разложения пробы угля от температуры в газовой смеси O_2 и N_2 при скоростях нагрева: 1- $5^\circ C/c$; 2- $10^\circ C/c$

Сравнивая характер выход летучих веществ в разных атмосферных условиях, можно отметить, что в окислительной среде процесс начинается при более низких температурах по сравнению в инертной среде. Максимальное уменьшение массы угольной пробы наблюдается в диапазоне температур $420^\circ C - 440^\circ C$. Общие потери массы в присутствии кислорода превышают аналогичные показатели в атмосфере аргона, что объясняется окислительным эффектом кислорода. Это различие особенно выражено при низких скоростях нагрева.

Повышение скорости нагрева пробы до $10^\circ C / c$ на всех этапах её разложения заметно увеличивает значения максимальной температуры T_{max} . При этом разница ΔT_{max} колеблется от $83^\circ C$ до $153^\circ C$ в атмосфере аргона и от $69^\circ C$ до $139^\circ C$ в среде кислорода, что соответствует пикам максимальной скорости разрушения угля на дифференциальных кривых ТГА. Увеличение скорости нагрева угля приводит к возрастанию выхода летучих веществ. В атмосфере аргона выделение летучих продолжается на протяжении всего процесса нагрева, но с пониженной скоростью. В окислительной среде процесс выгорания угольной пробы завершается

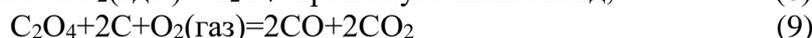
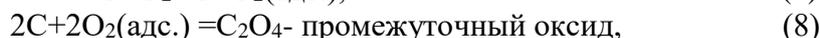
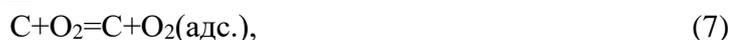
при температуре около 600 °С. Основной температурный интервал используется для определения кинетических параметров процесса, таких как энергия активации, константа скорости и порядок реакции, которые несут важную информацию о механизме разложения угольной матрицы. Можно сделать вывод, что определение модели термохимического превращения угля с месторождения Фон-Ягноб с помощью термогравиметрического анализа помогает выявить состав летучих веществ, выделяемых при использовании угля, и способствует их последующему целевому применению. При сравнении процесса выделения летучих веществ в разных средах отмечается, что в окислительной атмосфере этот процесс начинается при более низких температурах, чем в инертной. Максимальное снижение массы угля наблюдается в диапазоне 420 °С – 440 °С. Кроме того, с увеличением скорости нагрева пробы усиливается интенсивность выделения летучих компонентов.

Исследование кинетики окисления пластифицированного углерода кислородом

В процессе газификации угля важную роль играет реакция его горения, т.е. реакция взаимодействия углерода с кислородом, который может протекать одновременно по двум стадиям, определяющим суммарную скорость всего процесса, так и характер газообразования. Первая стадия — это окисление углерода, а следующей стадией является горение углерода. Реакция горения углерода протекает со скоростью, где концентрация кислорода у реакционной поверхности выше необходимой на 3-4% и температура выше 700-800°С.

Взаимодействие кислорода с углеродом можно описать с позиций теории гетерогенных реакций. Согласно этой теории, процесс окисления углерода кислородом включает в себя следующие стадии: а) адсорбция окислителя на поверхность адсорбента, т.е. углерода; б) образование на поверхности твердого углерода промежуточного соединения кислорода с углеродом; в) взаимодействие промежуточного соединения с реагентами реакции, т.е. с углеродом и кислородом, с образованием продуктов реакции; г) отвод продуктов реакции от реакционной зоны в газовый поток. Таким образом, реакция окисления углерода протекает слой за слоем до полного его расходования.

Механизм протекания процесса окисления углерода может быть выражена в виде следующих уравнений:



Общая скорость реакции окисления углерода зависит от скорости лимитирующей стадии процесса, т.е. наиболее медленной стадии. Процесс протекает в кинетической области, если лимитирующей стадией процесса является реакция (9).

В работе показано, что адсорбция окислителя на поверхности углерода протекает при весьма малых давлениях кислорода O_2 и даже при сравнительно высокой температуре. Следовательно, процесс адсорбции окислителя на поверхность углерода практически не влияет на скорость его окисления и на порядок реакции по кислороду. Тогда, кинетическое уравнение реакции (8) можно описать как

$$-dC/dt = K_o \cdot (S-S_l), \quad (10)$$

$-dC/dt$ - скорость расходования кислорода на поверхности угля по реакции (8); K_o - константа скорости реакции (8); S – реакционная поверхность углерода; S_l – поверхность углерода, занятая поверхностным окислом C_2O_4 .

Кинетическое уравнение реакции (9) можно описать как

$$-dx/dt = K_p \cdot S_l \cdot C, \quad (11)$$

$-dx/dt$ - скорость разложения окисла C_2O_4 по реакции (3.9); K_p - константа скорости реакции (9); C –концентрация кислорода у реакционной поверхности угля. При этом константы скоростей реакций K_p и K_o подчиняются уравнению Аррениуса и выражаются следующим образом:

$$K_o = K_{o1} e^{-E_1/RT} \text{ и } K_p = K_{p1} e^{-E_2/RT}, \quad (12)$$

K_{o1} и K_{p1} – соответствующие предэкспоненциальные множители в уравнении Аррениуса; E_1 и E_2 – энергия активации реакции (8) и (9); R - универсальная газовая постоянная; T - температура окисления углерода в Кельвинах.

На рисунке 11 приведены экспериментальные зависимости скорости окисления углерода, полученные при различной температуре и варьированием концентрации кислорода.

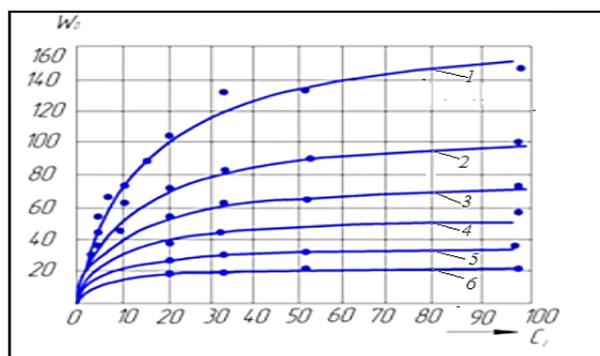


Рисунок 11. – Зависимость скорости окисления угля от содержания кислорода в реакционной смеси при температурах, °С: 1- 497; 2- 487; 3-477; 4-467; 5-457; 6-720

На рисунке 12 приведены зависимости константы скорости (K_o) и (K_p) от значений обратной температуры $1/T$. Из анализа углов наклона температурных зависимостей было определено, что для реакции (8) значение энергии активации $E_1 = 180$ кДж/моль, а для реакции (9) $E_2 = 197$ кДж/моль. Небольшая разница между этими величинами, составляющая всего 9,4 %, свидетельствует о схожей энергетической природе данных процессов. Это позволяет заключить, что реакции (8) и (9), соответствующие стадиям образования и разложения поверхностного окислителя, находятся в псевдоравновесном состоянии и не оказывают определяющего влияния на общую скорость окисления углерода.

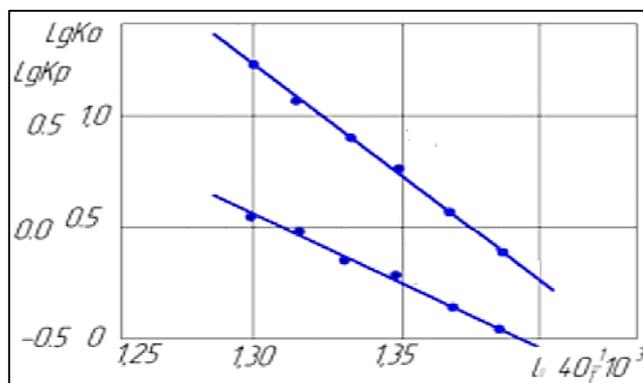


Рисунок 12. – Зависимость константы скорости образования C_2O_4 (K_o) и разложения C_2O_4 (K_p) от значение обратной температуры процесса окисления углерода

Многоцелевая технология переработки и газификации угля месторождения Фон-Ягноб

Технологическая схема газификации угля с многофункциональным назначением приведена на рисунке 13. Технология представляет последовательность выполнения операций по переработки угля и образованию сопутствующих продуктов.

Уголь во внешнеобогреваемом двухкорпусном реакторе 1 нагревается через внутренний корпус реактора до температуры 680-700 °С, при котором происходит его термоллиз с выделением летучих и смолистых веществ и некоторого количества смеси газов. Сначала из состава угля испаряется влага, затем при температуре до 350 °С уголь очищается от летучих и легко выделяемых компонентов, а при повышении температуры до 500-550 °С выделяются смолистые вещества и образуется полукок, начинается процесс графитизации углерода, образующийся

полукокс при температуре 680-700 °С превращается чистый углеродистый материал в смеси с неорганическими компонентами состава угля.

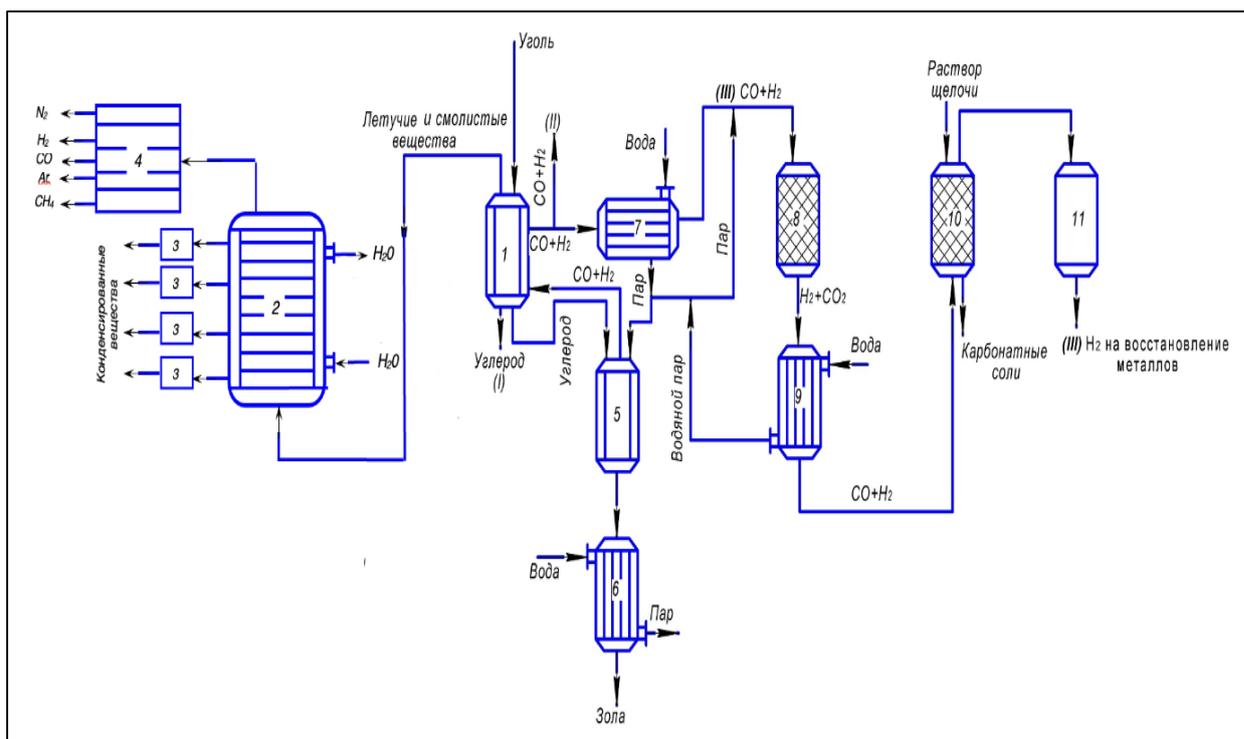


Рисунок 13. - Многофункциональная технологическая схема переработки угля и газификации углерода: 1 - реактор термолитиза угля; 2 –конденсационная колонна с тарелками для охлаждения газообразных летучих и смолистых веществ; 3-сборники конденсированных летучих и смолистых веществ; 4- разделитель газовой смеси, образующейся с летучими и смолистыми веществами; 5 – газогенератор углерода; 6-теплообменник–утилизатор тепла I для охлаждения золы; 7- теплообменник–утилизатор тепла II для охлаждения генераторного газа состава $CO + H_2$; 8 – реактор конверсии CO ; 9–теплообменник–утилизатор тепла III для охлаждения конвертированного газа состава $H_2 + CO_2$; 10 – щелочной абсорбер CO_2 ; 11 – конденсатор водяных паров

Разделённые летучие и смолистые вещества, а также газы будут использованы по назначению в зависимости от их состава. Оставшийся после термолитиза (1) пластифицированный углерод может быть использован двумя способами: а) как восстановительный реагент в металлургических процессах (линия I); б) подвергнут газификации в газогенераторе (5) с использованием окислителей: кислорода; воздуха; водяного пара или их смеси (линия II). После процесса газификации углерода в газогенераторе (5) образующаяся зола направляется в теплообменнике (6) для охлаждения. Охлаждённая зола может быть использована в производстве цемента и газобетона.

Для определения параметров процессов переработки угля и получения продуктов использована проба угля Фон-Ягнобского месторождения с составом, (мас. %): углерод (C) - 81.0; водород (H) - 5.2; азот (N) - 1.0; кислород (O) - 2.0; сера (S) - 1.4; зола-5.3; влажность - 4.0, содержание летучих веществ 0.98; содержание смолы - 4.5.

В таблице 4 приведены результаты процесса термолитиза 1000 кг угля вышеприведённого состава.

Таблица 4. - Результаты термолитиза 1000 кг угля

Приход сырья			Выход продуктов термолитиза угля		
Вещество	кг	%	Вещество	кг	%
уголь	1000	100	водяной пар	40,0	4,0
			летучие вещества	9,8	0,98
			смолы	45	4,5
			газы	42,2	4,22
			углерод + зола	863,0	86,3
Всего	1000	100	Всего	1000	100

В таблице 5 приведены результаты газификации пластифицированного углерода. Приведённые данные показывают, что при газификации углерода по всем трём вариантам соотношений количеств окислителей (O_2 и H_2O) к углероду в составе генераторного газа содержание CO остаётся постоянным, тогда как содержание H_2 изменяется.

Таблица 5. - Результаты газификации углерода при $T = 760 - 1300$ °С

Расход сырья			Приход продуктов газификации		
Вещество	кг	%	Вещество	кг	м ³
Состав а) $C: O_2:H_2O=1:0,35:0,3$; Температура газификации углерода 1300 °С					
углерод	810,0	40,8	оксид углерода	1890	1512
минеральные оксиды	53,0	2,7	водород	40,5	453,6
кислород	756,0	38,1	зола	53,0	-
водяной пар	364,5	18,4	-	-	-
Всего	1983,5	100	Всего	1983,5	1965,6
Состав б) $C:O_2 :H_2O=1:0,3:0,4$; Температура газификации углерода 760 °С					
углерод	810,0	40,6	оксид углерода	1890,0	1512
минеральные оксиды	53,0	2,7	водород	52,0	604,8
кислород	646,0	32,3	зола	53,0	2,7
водяной пар	486,0	24,4	-	-	-
Всего	1995,0	100	Всего	1995,0	
Состав в) $C: O_2: H_2O=1:0,325:0,35$; Температура газификации углерода 980°С					
углерод	810,0	40,7	оксид углерода	1890,0	1512
оксиды	53,0	2,7	водород	47,25	529,2
кислород	702,0	35,3	зола	53,0	2,6
водяной пар	425,25	21,3	-	-	-
Всего	1990,25	100	Всего	1990,25	100

Таким образом, количественное соотношение окислителей определяет соотношение окиси углерода (CO) и водорода (H_2) в составе генераторного газа. При этом, важным является тот факт, что оба компонента CO и H_2 обладают высокой теплотворной способностью. Теплотворная способность водорода (H_2) составляет 12770 кДж/м³; а окиси углерода (CO) 12640 кДж/м³. При температурах до 830 °С восстановительная активность CO превышает активность H_2 , тогда как при температурах выше 830 °С преимущество в восстановительных свойствах переходит к водороду.

В общем, при газификации 1000 кг угля вышеуказанного состава Фон-Ягнобского месторождения по всем трём вариантам газификации, кроме летучих и смолистых веществ и золы, количество которых зависят от их содержания в составе угля, образуется генераторный газ, состоящий из CO в количестве 1890 кг и H_2 , в количествах соответственно 40,5 кг; 47,25 кг и 52 кг, в общем 1930,5-1942 кг. Данный состав генераторного газа можно использовать в качестве исходного сырья восстановительного газа в металлургии или в качестве сырья в химической промышленности. Газ используется для синтеза аммиака (NH_3), азотной кислоты (HNO_3), карбамида ($CO(NH_2)_2$) и других химических соединений. Для увеличения содержания водорода в газе проводится конверсия окиси углерода (CO) в диоксид углерода (CO_2).

Восстановление свинцово-цинкового концентрата водородом, полученного газификацией угля Фон-Ягнобского месторождения

Технологическая схема получения газов из угля с целью получения водорода для восстановления металлов представлена на рисунке 14.

Оксид углерода (CO) и водород (H_2) относятся к числу наиболее активных восстановителей, широко используемых в процессах восстановительной металлургии и химической технологии. Оба компонента способны эффективно взаимодействовать с оксидами

металлов, восстанавливая их до металлического состояния и образуют стабильные газообразные продукты - CO_2 и H_2O .

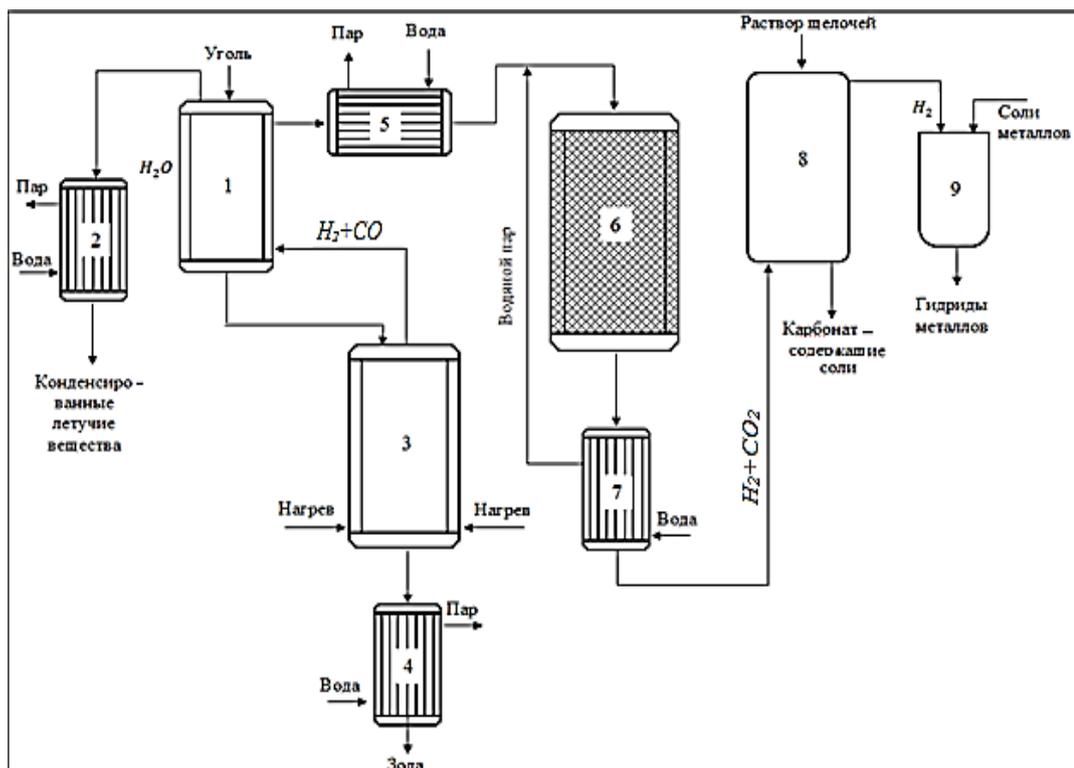


Рисунок 14. - Технологическая схема получения водорода из угля для восстановления свинцово-цинкового концентрата: 1 – угле-нагревательный реактор; 2- колонна конденсации летучих компонентов; 3- газогенератор; 4,5,7 – теплообменники –утилизаторы; 6 – реактор паровой конверсии оксида углерода; 8 – щелочной абсорбер для удаления CO_2 ; 9 -реактор восстановления металлов с использованием водорода

Данные таблицы 6 демонстрируют результаты материального баланса переработки 810 кг углерода, полученного из 1000 кг угля марки Фон-Ягноб с использованием разработанной технологии получения водорода.

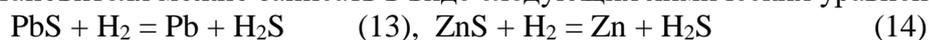
Таблица 6. - Результаты материального баланса газификации углерода и конверсии оксида углерода

Приход сырья			Выход продуктов		
Вещество	кг	%	Вещество	кг	%
Газификация углерода водяным паром					
углерод	810	39,3	оксид углерода	1890	93,3
водяной пар	1215	60,7	водород	135	6,7
Всего	2025	100	Всего	2025	100
Конверсия оксида углерода водяным паром					
оксид углерода	1890	58,3	диоксид углерода	2970	91,7
водяной пар	1215	37,5	водород	270	8,3
водород	135	4,2	-	-	-
Всего	3240	100	Всего	3240	100

Процессы газификации конверсии были проведены при мольных соотношениях $\text{C} : \text{H}_2\text{O} = 1 : 1$ и $\text{CO} : \text{H}_2\text{O} = 1$, что обеспечивает эффективное протекание реакций паровой конверсии углерода и оксида углерода. В результате образуется генераторный газ с повышенным содержанием водорода, который может быть использован в металлургической промышленности и химических процессах, где необходим высокоактивный восстановитель.

Нижеследующая проба с минералогическим составом концентрата Кони Мансурского месторождения использована для исследований (мас. %): $\text{PbS} - 46,0$; $\text{ZnS} - 5,10$; $\text{CuFeS}_2 - 5,04$; $\text{FeS}_2 - 34,64$; $\text{SiO}_2 - 7,12$; $\text{Al}_2\text{O}_3 - 2,10$.

Процессы восстановления свинца и цинка из их сульфидов с использованием водорода в качестве восстановителя можно записать в виде следующих химических уравнений:



В работе термодинамическим способом обоснована и экспериментально показана возможность восстановления сульфидов свинца, цинка, железа и меди водородом и природным газом при температурах 900–1300 °С. Экспериментальные исследования по восстановлению металлов из их чистых сульфидов водородом, проведённые при указанных температурах, показали, что с повышением температуры и времени переработки концентрата степень восстановления металлов возрастает. При этом, свинец полностью восстанавливается при температуре 1300 °С уже через 40 минут переработки сульфида свинца, однако при данных условиях степень восстановления цинка, железа и меди из их сульфидов составляет соответственно 47,12 %, 19,57 % и 5,35 %.

Конструкция двухступенчатого газогенератора и её описание. Для оптимального осуществления процесса переработки угля и газификации углерода разработана конструкция двухступенчатого совмещённого реактора-газогенератора, состоящего из секции А и Б (рис. 15).

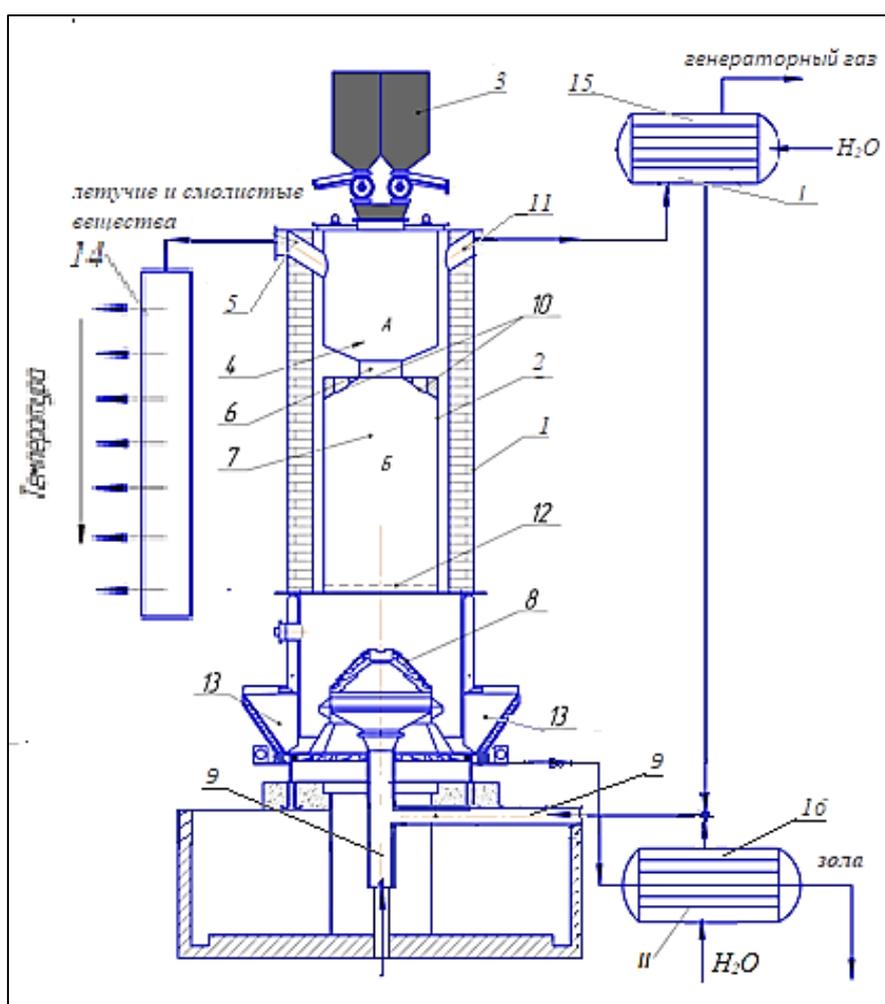


Рисунок 15. – Двухступенчатый газогенератор для газификации угля: *А*-верхняя ступень газогенератора: реактор нагрева угля; *Б*-нижняя ступень газогенератора: газогенератор углерода; 1-внешний футерованный корпус реактора; 2-внутренний стальной корпус реактора; 3-загрузочное устройство для подачи угля в реактор; 4-камера реактора нагрева угля и получения пластифицированного углерода; 5-штуцер для отвода газообразных летучих и смолистых компонентов состава угля; 6- устройство для подачи углерода из реактора нагрева угля в газогенератор; 7-камера газогенератора для газификации углерода; 8-вращающаяся колосниковая решетка для распределения газообразного окислителя в объеме зоны газификации углерода; 9- входной штуцер для подачи веществ окислителей в реактор; 10- сетчатая часть стенки внутреннего корпуса реактора для прохождения генераторного газа из зоны реакции в межкорпусное пространство реактора; 11- выходной штуцер для отвода генераторного газа из реактора в котёл утилизатора тепла; 12 - решетка для улавливания непрореагировавших частиц углерода; 13-выходное устройство для выгрузки золы из реактора; 14- конденсационная колонна для охлаждения летучих и смолистых веществ и их превращения из газообразного в жидкое состояние; 15-котёл-утилизатор тепла для охлаждения генераторного газа и получения водяного пара; 16-котёл-утилизатор тепла для охлаждения золы и получения водяного пара.

Компактность представленной конструкции минимизирует тепловые потери установки, так как все процессы газификации угля происходят в тесно связанных зонах одного устройства, без необходимости применения длинных теплопроводящих линий и дополнительной изоляции. Это способствует максимально эффективному использованию внутренней тепловой энергии и значительно повышает общую энергоэффективность установки, снижая потребность в дополнительных внешних источниках тепла. Благодаря интеграции функций нагрева и газификации в одном корпусе, существенно снижается материалоемкость оборудования, уменьшаются объемы применяемых конструкционных материалов, сокращаются трудозатраты на изготовление и сборку. В свою очередь, это приводит к снижению капитальных и эксплуатационных затрат на реализацию технологического процесса газификации угля. Унифицированность конструкции газогенератора требует значительно меньше производственной площади для его установки, по сравнению с традиционными схемами, где используются отдельные установки для каждого этапа производства продукта. При модернизации существующих производств использования углей, также не маловажным фактором является его размещение.

Выводы

1. Проведено исследование состава и свойств угля Фон-Ягнобского месторождения, осуществлён термолиз угля для выделения летучих и смолистых веществ его состава и получения пластифицированного углерода, проведена газификация углерода состава угля для получения энергетического и технологического газов [4-А, 5-А, 8-А, 11-А, 12-А, 13-А, 15-А].
2. При осуществление термолиза угля до температурах 650-700 °С выделены летучие и смолистые вещества состава угля при следующих температурах: пары воды и неконденсируемые газы при 90-100 °С; бензол и его гомологи при 110-170 °С; фенолы и пиридины при 170-200 °С; нафталиновая фракция при 210-230 °С; метилнафталены при 230-270 °С; антрацены при 270-360 °С; каменноугольный пек при 360-500 °С. Предложен способ конденсации летучих и смолистых веществ согласно градиенту уменьшения температуры для отдельного получения каждого вещества в жидком виде [3-А, 7-А, 6-А, 15-А, 18-А, 19-А, 20-А].
3. Термогравиметрическое исследование угля показало, что в окислительной среде выход летучих веществ начинается при более низких температурах, чем в инертной среде аргона. Пик убыли массы пробы угля приходится в интервале температур 420 -440 °С. Интенсивность выхода летучих веществ возрастает с ростом скорости нагрева угля. В инертной среде аргона выход летучих веществ продолжается на протяжении всего процесса нагрева пробы, но в окислительной среде выгорание угля завершается при температуре 600°С [3-А, 5-А, 7-А, 8-А, 19-А, 20-А].
4. Исследовано, что при температурах 650-700 °С углерод совместно с минеральными веществами состава угля пластифицируется, пластифицированный углерод является эффективным сырьём для использования в качестве реагента для восстановления металлов в металлургии или газификации кислородом и водяным паром для получения энергетического и технологического газов [4-А, 5-А, 8-А, 10-А, 11-А, 18-А, 19-А, 20-А].
5. Исследована кинетика окисления углерода кислородом. Выявлено, что процесс взаимодействия углерода с кислородом протекает как гетерогенная реакция с первоначальным образованием поверхностного оксида C_2O_4 с последующим его разложением на CO и CO_2 . Энергия активации образования и разложения поверхностного оксида соответственно $E_1 = 180$ кДж/моль и $E_2 = 197$ кДж/моль [1-А, 2-А, 5-А, 4-А, 7-А, 13-А, 14-А].
6. Разработана рациональная технология газификации угля, выражающаяся в том, что до газификации термолизом угля при его нагревании до температур 700 °С из его состава выделяются летучие и смолистые компоненты, которые затем конденсируются и могут быть использованы в соответствии с их химическим составом, а оставшийся углерод используется как восстановитель металлов или газифицируется кислородом и водяным паром для получения генераторного газа, состоящего из водорода и оксида углерода, которые используются как восстановитель металлов или подвергаются конверсии оксида углерода водяным паром с

последующим абсорбционным выделением диоксида углерода и получением чистого водорода [1-А, 2-А, 6-А, 7-А, 11-А, 12-А, 13-А, 18-А, 20-А].

7. Полученный газификацией угля Фон-Ягнобского месторождения водород был использован для восстановления металлов из свинцово-цинкового концентрата руды месторождения Кони Мансур. Установлено, что при газификации 1000 кг угля с использованием технологии, разработанной в рамках данного исследования, образуется 270 кг H_2 , что может восстанавливать 27,972 кг свинца Pb из 32,3 т минерала галенита PbS [1-А, 4-А, 6-А, 9-А, 14-А, 17-А].

8. Разработана конструкция двухступенчатого газогенератора угля, в которой тепловой реактор для получения углерода и блок газификации углерода объединены в едином устройстве. Такое совмещенное решение позволяет в одном агрегате последовательно осуществлять термическую переработку угля с выделением углерода, летучих и смолистых веществ, последующую газификацию углерода и получение генераторного газа и золы, использовать тепло горячего генераторного газа и золу угля для получения водяного пара, используемого для газификации углерода. Двухступенчатый газогенератор компактный с меньшей материальной затратой и энергопотребностью, не имеет выбросов, загрязняющих окружающую среду [5-А, 18-А, 19-А, 20-А].

Рекомендации по практическому использованию результатов исследования

Результаты проведенного исследования имеют значительную практическую потребность для внедрения в промышленные процессы углепользования и энергетики с целью повышения эффективности и экологической безопасности переработки угля. Основные направления практического применения данных результатов включают следующее:

1. Разработка промышленной многофункциональной технологии переработки угля месторождений Таджикистана. Разработанная технология позволяет осуществлять глубокую комплексную переработку угля с получением широкого спектра ценных продуктов:

- высокочистого твердого углерода, пригодного для применения в металлургии, электротехнической и химической промышленности;
- генераторного газа, обладающего энергетическим и технологическим потенциалом;
- летучих и смолистых веществ, включающих антрацены, метил нафталины, нафталиновая кислота, фенолы и пиридины, бензол и его гомологи, представляющие интерес как сырьё для химической и нефтехимической промышленности.

2. Применение энергетического газа. Полученный в процессе газификации угля генераторный газ может быть эффективно использован в качестве энергоносителя в различных отраслях промышленности, включая:

- топливно-энергетический комплекс;
- металлургии;
- химической промышленности, где требуется термическая энергия или газовая среда с определенными свойствами.

3. Применение технологического газа. В зависимости от компонентного состава, технологический газ может быть направлен на синтез важнейших продуктов, таких как:

- аммиак (NH_3);
- карбамид ($CO(NH_2)_2$);
- метанол (CH_3OH), синтез-газ и другие органические соединения, используемые в химическом производстве.

4. Применение водорода (H_2), полученного в результате газификации угля:

- в качестве химического реагента для синтеза водородсодержащих соединений;
- в качестве восстановителя в металлургии для извлечения металлов из их оксидов и солей;
- как высокоэффективный источник энергии для топливных элементов и тепловых установок;
- использование в маломасштабных энергосистемах, автономных энергоустановках и в промышленных котлах для получения пара.

5. Внедрение двухступенчатого реактора-газогенератора. Разработанная конструкция двухступенчатого реактора-газогенератора обеспечивает:

- снижение энергетических затрат за счет рационального использования тепла;
- повышение термической эффективности всего процесса;
- точную управляемость термохимическими стадиями (термолиза и газификации);
- увеличение выхода целевых продуктов при одновременном снижении доли не переработанных остатков.

Список литературы

1. Аль-Бируни Абу Райхан. Книга о драгоценных камнях / пер. с араб. под ред. И. Ю. Крачковского. - Ташкент: ФАН, - 1963. - 488 с.
2. Агрикола, Г. *De re metallica*. (О горном деле и металлургии) / Georgius Agricola. — Базель: Froben, - 1556. -12 кн.
3. Лавуазье, А. Л. *Трактат о химии* / Antoine L.Lavoisier. Париж: Cuchet, - 1789.-211с.
4. Tropsch, H. Problems in the Chemistry of Coal // *Chemical Reviews*. — 1929. — Vol. 6. - P. 63–90.
5. Fischer, F., Tropsch H. Process for the Production of Paraffin-Hydrocarbons. - US Patent 1 746 464. - 1930.
6. Fischer, F. The Conversion of Coal into Liquid Fuels // *Chemical Age*. -1936. -Vol. 35, № 24. - P. 353–355.
7. Менделеев, Д. И. Основы фабрично-заводской промышленности. СПб.: Тип. В. Демакова, - 1897. - 684 с.
8. Вернадский, В. И. Очерки геохимии. Л.: Госхимиздат, 1934. - 380. с.
9. Губкин, И. М. Учение о нефти и угле. М.: АН СССР, 1937. - 472 с.
10. Семёнов, Н. Н. Цепные реакции. М.; Л.: Госхимиздат, 1934. - 535 с.
11. Walker, P. L., Rusinko F., Austin L. G. Gas reactions of carbon // *Advances in Catalysis*. - 1959. - Vol. 11. - P. 133–221.
12. Smoot, L. D., Smith, P. J. *Coal Combustion and Gasification*. - New York: Plenum Press, 1985. - 552 p.
13. Жижченко, Б. П. Термическое разложение и газификация твёрдых топлив. - М.: Химия, - 1968. - 320 с.
14. Кузнецов, А. А. Химия и технология твёрдого топлива. М.: Недра, -1973. - 416 с.
15. Газификация угля и других твёрдых топлив / под ред. В. С. Веселова. - М.: Энергоатомиздат, - 1980. - 368 с.
16. Термолиз углей различного ранга / А. И. Камнева. - М.: Наука, - 1985. - 292 с.
17. Химия твёрдого топлива / Н. И. Шпильрайна. - М.: Химия, - 1986. - 400 с.
18. Бутузов В. А., Лебедев А. Н. Физико-химические основы газификации угля. — М.: Энергоатомиздат, - 1990. - 304 с.
19. Угли Средней Азии: состав, свойства, направления использования / под ред. Р. А. Ниязова. - Ташкент: Фан, 1978. - 286 с.
20. Геология угольных месторождений Таджикистана / под ред. М. Х. Ходжиева. - Душанбе: Дониш, - 1982. - 312 с.
21. Физико-химические свойства углей Фон-Ягнобского бассейна / А. С. Саидов [и др.] // *Горючие ископаемые*. - 1991. - № 4. - С. 45–52.
22. Влияние минеральной части угля на процессы газификации / А. В. Петров, Н. М. Орлов // *Химия твёрдого топлива*. - 2003. - № 2. - С. 18–26.
23. Мингбоев, Ш. А. Физико химические основы переработки углей Таджикской депрессии: дис. ... канд. хим. Наук. – Душанбе, 2020. – 95 с.
24. Муродиён, А. Научно-практические основы переработки и использования местного углеродсодержащего сырья в производстве алюминия: дис. ... док. тех. наук. – Душанбе, 2020. – 305 с.
25. Исобаев, М. Д., Пулатов, Э. Х., Давлатназарова, М. Д., Халиков, Б. Д., Турдалиев, М. З., Сохибов, Н. Б., Юнусов, М. Комплексный подход к использованию и переработке угля // тез. Междунар. конф., Душанбе, 2013. - С. 11-13.

26. Исобаев, М. Д., Пулатов, Э. Х., Абдуллаев, Т. Х., Давлатназарова, М. Д., Мингбоев, Ш. А. Кинетика термического разложения высокомолекулярных соединений, входящих в состав угля // Известия АН РТ., Отдел физико-математических, химических, геологических и технических наук. - 2013, № 3 (Т. 152). - С. 52–58.
27. Муродиён, А., Азизов, Б.С., Мирпочаев, Х.А., Н.Ю. Пулодов., Джамолзода, Б.С., Сафиев, Х.С. Использование углей республики Таджикистан в производстве синтез-газа (угольного газа). Вестник педагогического университета. Энергетика и рациональное природопользование. - 2021.- №4, - С. 150-154.
28. Ёров, З.Ё., Кабиров, Ш.О., Муродиён, А., Сироджев, Н.М. Минерально – сырьевая база химико – металлургической промышленности Таджикистана. Изд.: “Мега Басым”, - Стамбул, Турция. – 413 с.
29. Nigman C., Van der Burgt, M. Gasification mechanisms and reactors // Fuel Processing Technology. - 2003. - Vol. 83. - P. 1–12.
30. Li X., Grace J. R., Lim C. J. Coal gasification in fluidized beds // Fuel. - 2004. Vol. 83. - P. 191–199.
31. Шодиев, Г.Г. Технологические основы газификации углей месторождения Фон Ягноб для совместного производства тепла и химических материалов. Дисс. на соис. звание канд. тех. наук. - Душанбе. - 2010. – 123 с.
32. Муродиён, А.Ш., Шарифов, А., Мирсаидов, У.М. Оценка эффективности разных способов производства водорода в текущих условиях промышленности и энергетики Таджикистана. Доклады НАНТ. - 2025, - Т. 68, - №7. – С. 690-701.
33. Кузичкина, Ю.М. Петрография характеристика углей месторождения Фон Ягноб по материалам Таджикской ССР. / Ю.М. Кузичкина. Сталинабад: Госгеолфонд. 1940, 28 с.
34. Повзнер, З.И. Лабораторное обогащение угля пластов Фон Ягнобского угольного месторождения / З.И. Повзнер. Сталинабад: Госгеолфонд. – 1942. – 15 с.
35. Сафиев, И.С. Коксование Фон Ягнобских угольных пластов / И.С. Сафиев. Сталинабад: Госгеолфонд. -1948. -13 с.
36. Худойкулов, К.Х. Геология и метаморфизм зеленосланцевых образцов Магиян Ягнобской полосы Центрального Таджикистана. Душанбе / К.Х. Худойкулов. Сталинабад: Госгеолфонд. – 1987. - 321 с.
37. Переясловский, И.В. Детальная разведка участка карьерного Восточного фланга каменноугольных мест Фон Ягнобского местоождения за 1987-1990гг / И.В. Переясловский. Душанбе: Госгеолфонд. – 1990. – 632 с.
38. Ёров, Ш.Н. Омӯзиши таркиби паратовҳои сӯзиши қитъаи қони Фон Ягноб / Ш.Н. Ёров. – Душанбе: Госгеолфонд. – 2018. – 161 с.
39. Раджабов, К.О. Каменный уголь по участку Реват центральной площади месторождения Фон Ягноб/ К.О. Раджабов. – Душанбе: Госгеолфонд – 2020. - 37 с.
40. Огнев, Н.С. Фон ягнобское каменно угольное месторождение / Н.С. Огнев. Душанбе: Госгеолфонд. – 1959. – 81 с.
41. Абакин, Ю.А. Переоценка запасов угля по Фон Ягнобскому месторождению / Ю.А. Абакин. – Душанбе: Госгеолфонд – 1987. – 101 с.
42. Охунов, Р.В., Ёров, З.Ё., Негматов, И.И. Атлас справочник угольного месторождения Фон Ягноб. Душанбе. – 2017. -170 с.

**Список научных публикаций соискателя ученой степени по теме диссертации
Статьи, опубликованные в научных журналах рекомендованных ВАК при Президенте
республики Таджикистан**

- 1-А. Бахриддинзода, Ш.Б.** Закономерности гетерогенных процессов восстановления свинца из галенитсодержащего концентрата газами / З.Х. Гайбуллаева, Б.И. Асроров, Ш.Б. Бахриддинзода, Г.Т. Насымов, А. Шарифов // Доклады АН РТ. - 2020. - Т.63. - № 9-10. - С. 631-637. ISSN 0002-3469.

2-А. Бахриддинзода, Ш.Б. Гетерогенные процессы восстановления свинца из галенитсодержащего концентрата газами / З.Х. Гайбуллаева, Г.Т. Насымов, Б.И. Асроров, Ш.Б. Бахриддинзода, А. Шарифов // Доклады АН РТ. - - 2020. - Т.63. - №5-6. - С. 368-373. ISSN 0002-3469.

3-А. Бахриддинзода, Ш.Б. Получение восстановительных веществ способом переработки углей месторождения Фон-Ягноб / Ш.Б. Бахриддинзода, Б.И. Асроров, З.Х. Гайбуллаева, А. Шарифов // Политехнический вестник. Серия инженерные исследования. - 2021. - №3 (55). - С.92-96. ISSN 2520-2227.

4-А. Бахриддинзода, Ш.Б. Безотходная технология газификации угля для получения тепла и химических веществ / З.Х. Гайбуллаева, Ш.Б. Бахриддинзода, Б.И. Асроров, А. Шарифов // Горный журнал. - 2022. - №9. - С.62-68. ISSN 0017 - 2278. DOI: 10.17580/gzh.2022.09.11.

5-А. Бахриддинзода, Ш.Б. Газообразование при взаимодействии угля с кислородом // З.Х. Гайбуллаева, Т.Х. Гадоев, Б.И. Асроров, Ш.Б. Бахриддинзода // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. - Душанбе 2023. - № 2 (62). – С. 105-112. ISSN 2520-2227.

6-А. Бахриддинзода, Ш.Б. Ресурсосберегающая технология переработки угля месторождения Фон Ягноб / З.Х. Гайбуллаева, Т.Х. Гадоев, Б.И. Асроров, Ш.Б. Бахриддинзода, А.Шарифов // Доклады НАНТ. - 2023, - Т. 66. - № 3-4. - С. 230-236. ISSN 2791-1489.

7-А. Бахриддинзода, Ш.Б. Термическая обработка угля Фон-Ягнобского месторождения для выделения летучих веществ его состава / З.Х. Гайбуллаева, Т.Х. Гадоев, Ф.М. Рахимов, Б.И. Асроров, Ш.Б. Бахриддинзода // Доклады НАНТ, - 2025. - №6. - Т.68. - С. 598-607. ISSN 2791-1489.

8-А. Бахриддинзода, Ш.Б. Исследование процесса термического разложения угля при его газификации / Т.Х. Гадоев, Ш.Б. Бахриддинзода, Ф.Х. Рахимов, Б.И. Асроров, З.Х. Гайбуллаева // Известия НАНТ. - 2025. - №2 (199). - С.145-152. ISSN 2791-2337.

Публикации в материалах научных конференций

9-А. Бахриддинзода, Ш.Б. Активность палладиевого катализатора в реакции получения гидрида алюминия / З.Х. Гайбуллаева, Б.И. Асроров, Ш.Б. Бахриддинзода, Г.Т. Насымов // Материалы республиканской научно-практической конференции с участием международных организаций «Инновационное развитие науки» 10 декабря 2020 г, г. Душанбе. - С.33-35.

10-А. Бахриддинзода, Ш.Б. Изучение восстановления окиси металлов состава полиметаллических концентратов окисью углерода / З.Х. Гайбуллаева, Г.Т. Насымов, Б.И. Асроров, Ш.Б. Бахриддинзода, А Шарифов // Материалы республиканской научно-практической конференции с международным участием «Тепловая энергетика и теплофизические свойства веществ» 27-28 августа 2021, г. Душанбе, - С. 210-217.

11-А. Бахриддинзода, Ш.Б. Исследование процесса окисления металлов окисью углерода, полученного газификацией углей Фон Ягноб / З.Х. Гайбуллаева, Г.Т. Насымов, Б.И. Асроров, Ш.Б. Бахриддинзода // Материалы V международной научно-практической конференции «Вопросы физико-химической и координационной химии». – Душанбе, 2021. - С. 168-174.

12-А. Бахриддинзода, Ш.Б. Экологические аспекты проблем возникающих при использовании природных энергоносителей / З.Х. Гайбуллаева, Б.И. Асроров, Ш.Б. Бахриддинзода // Материалы III международной научно-практической конференции «Роль женщин-учёных в развитии науки, инноваций и технологий». - 2022, - г. Гулистан, - С. 246-252.

13-А. Бахриддинзода, Ш.Б. Переработка сульфидных свинец содержащих концентратов восстановительными газами / Ш.Б. Бахриддинзода // Материалы XIII международной теплофизической школы «Теплофизика и информационные технологии». 17-20 октября 2022 г, - г. Душанбе. – С. 192-195.

14-А. Бахриддинзода, Ш.Б. Получение металлов из свинцово цинковых руд месторождения Кони Мансур (Таджикистан)/ З.Х. Гайбуллаева, Б.И. Асроров, Ш.Б. Бахриддинзода, А. Шарифов/ Материалы XV международной конференции «Металлургия цветных редких и благородных металлов» имени члена- корреспондента РАН Г.Л. Пашкова, 6-8 сентября 2022 г. – Красноярск, Россия. – С. 172- 175.

15-А. Бахриддинзода, Ш.Б. Технологические факторы использования угля / Ш.Б. Бахриддинзода, Т.Х. Гадоев, Г.Г. Шодиев, З.Х. Гайбуллаева //Материалы международной научно-практической конференции с международным участием «Теплоэнергетика и теплофизические свойства» посвящённой объявлению 2020-2040 годов «Двадцатилетием изучения и развития естественных, точных и математических наук в сфере науки и образования». Душанбе, 2023. - С. 96-100.

16-А. Бахриддинзода, Ш.Б. Водородная технология и экологическое равновесие / Т.Х. Гадоев, Ф.М. Рахимов, Ш.Б. Бахриддинзода, Б.И. Асроров., З.Х. Гайбуллаева/ Материалы XX международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «ПРОСПЕКТ СВОБОДНЫЙ» конгресса и выставки «Цветные металлы и минералы». Секция металлургия цветных и редких металлов. 15-20 апреля 2024. г. Красноярск, Сибирский Федеральный университет. - Россия. Сертификат № 32958-2024.

17-А. Бахриддинзода, Ш.Б. Исследование кинетических закономерностей извлечения свинца из полиметаллических концентратов / З.Х. Гайбуллаева, Б.И. Асроров, Ш.Б. Бахриддинзода, А. Шарифов/ Материалы XII международного конгресса и выставки «Цветные металлы и минералы». Секция металлургия цветных и редких металлов. 19-3 сентября 2024. г. Красноярск, - Россия. Сертификат.

Патенты и изобретения

18-А. Бахриддинзода, Ш.Б. Малый Патент №1348 ТЈ, МПК: С10Ј 3/00. Способ получения восстановительных веществ при переработке угля / З.Х. Гайбуллаева, А. Шарифов, Б.И. Асроров, Ш.Б. Бахриддинзода, Г.Т. Насимов // №2201619, заяв. 05.01.2022, опубл. 10.02.2023, бюл №192, 2023.

19-А. Бахриддинзода, Ш.Б. Малый Патент № 1415 ТЈ, МПК С1 0Ј 3/00 Способ газификации угля / З.Х. Гайбуллаева, Б.И. Асроров, А. Шарифов, Т.Х. Гадоев, Ш.Б. Бахриддинзода, Н.Т. Яхяев // № 2301837, заяв. 18.05.2023 г.; опубл. 4.08.2023, бюл. №197, 2023.

20-А. Бахриддинзода, Ш.Б. Патент Евразии №047175. Способ получения восстановительных веществ при переработки угля / З.Х. Гайбуллаева, А. Шарифов, Б.И. Асроров, Ш.Б. Бахриддинзода, Г.Т. Насимов // №047175; заявл. 14.02.2023, опубл. 17. 06. 2024 г., бюл. Евразийского патентного ведомства «Изобретения (евразийские заявки и патенты)» №6/2024.

ВАЗОРАТИ МАОРИФ ВА ИЛМИ ҶУМҲУРИИ ТОҶИКИСТОН
ДОНИШГОҲИ ТЕХНИКИИ ТОҶИКИСТОН
ба номи академик М.С. Осимӣ

ТДУ 66:546+662.76 (573.3)

ба ҳуқуқи дастнавис



БАҲРИДДИНЗОДА ШОҲИН БАҲРИДДИН

ТЕРМОЛИЗ ВА ГАЗИФИКАТСИЯИ АНГИШТҶОИ
КОНИ ФОН-ЯҒНОБ

АВТОРЕФЕРАТИ

диссертатсия барои дарёфти дараҷаи илмӣ номзади илмҳои техникӣ
аз рӯи ихтисоси 2.5. Технологияи химиявӣ (маводҳо ва металлургия)
(2.5.1. Технологияи моддаҳои ғайриорганикӣ)

Душанбе -2026

Диссертатсия дар кафедраи “Технологияи истеҳсолоти химиявӣ”-и Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ иҷро гардидааст

Роҳбари илмӣ

Ғайбуллоева Зумрат Ҳабибовна — доктори илмҳои техникӣ, мудири кафедраи “Технологияи равандҳои истеҳсолӣ”-и филиали донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С.Осимӣ дар назди ҶСК “АЗОТ”

Муқарризони расмӣ

Ҳочизода Саидмуқбил Қосим — доктори илмҳои техникӣ, дотсент, мудири кафедраи фанҳои умуми табиӣ донишкадаи Кӯҳию металлургии Тоҷикистон;

Ашурзода Наимҷон Амонқул — номзади илмҳои техникӣ, дотсент, Сардори раёсати таҳсилоти Муассисаи давлатии таълимии «Донишгоҳи давлатии Бохтар ба номи Носири Хусрав»

Муассисаи пешбар

Муассисаи давлатии «Институти илмӣ-тадқиқотии металлургия»-и Ҷамъияти саҳомии кушодаи «Ширкати алюминийи тоҷик».

Ҳимояи диссертатсия “1” апрели соли 2026, соати 09-00 дар ҷаласаи Шӯрои диссертатсионии муштараки БД.КАО-042 назди Институти химияи ба номи В.И. Никитини АМИТ ва Агентии амнияти ХБРЯ-и АМИТ баргузор мегардад. Суроға: 734063, ш. Душанбе, кӯчаи Айни 299/2, E-mail: f.khamidov@cbrn.tj. тел.: +992 934 366 463.

Бо мӯҳтавои диссертатсия дар китобхонаи илмӣ ва сомонаи Институти химияи ба номи В.И. Никитини АМИТ www.chemistry.tj шинос шудан мумкин аст.

Автореферат «___» _____ 2026 сол аз рӯи феҳристи пешниҳод шуда, фиристода шуд.

Котиби илмии
шӯрои диссертатсионӣ,
номзади илмҳои техникӣ



Ҳомидов Ф.А.

МУҚАДДИМА

Мубрами мавзуи таҳқиқот. Яке аз масъалаҳои асосии замони муосир ва ояндаи наздик бо миқдори кофии энергия таъмин намудани кишвар мебошад. Ин яке аз масъалаҳои соҳавӣ буда, на танҳо хусусияти техникӣ, балки иҷтимоӣ-иқтисодиро низ дорад. Онро бояд дар доираи чанд масъалаҳои ба ҳам зид ҳал кард, ки ба саноатӣ гардонидани иқтисодиёт, нигоҳдории тозагии атмосфера, таъмини эҳтиёҷоти иқтисодиёт бо манбаи самараноки энергетикӣ, ки дорои арзиши паст ва дастрас аст, вобаста мебошад. Ҳалли масъалаи таъмини иқтисодиёти кишвар бо энергия ба коркарди комплекси ашёи хоми маҳаллӣ нигаронида шудааст.

Кишвари мо аз яке аз давлатҳои ҳамсояи минтақаи Осиёи Марказӣ ва табиӣ ва маҳсулоти нафтиро харидорӣ мекунад ва барои ин маблағҳои зиёди молиявиро сарф менамояд. Гази табиӣ, ғайр аз истифодаи энергетикӣ худ, инчунин дар бахши саноатӣ барои ҳосил кардани гидроген, аз ҷумла дар истеҳсоли аммиак дар ҶСК «Азот», истифода мешавад. Одатан, дар мавсими зимистон воридоти гази табиӣ кам мегардад ва ин корхона фаъолияти худро муваққатан қатъ мекунад ва ба истеҳсолоти мавсимӣ табдил меёбад. Аз ин рӯ, зарурияти иваз намудани гази табиӣ ба манбаи дигари маҳаллии энергетикӣ ба миён меояд. Дар соҳаи саноат тарзи газификатсияи ангишт барои ба даст овардани манбаҳои гази энергия маълум аст. Пас, табдил додани энергия аз сӯзишвории саҳт ба манбаи гази энергия тавассути газификатсияи ангишт метавонад роҳи алтернативӣ барои иваз намудани истифодаи гази табиӣ гаронбаҳо дар корхонаҳои кишвар бошад.

Стратегияи миллии рушди Ҷумҳурии Тоҷикистон барои давраи то соли 2030 ҳадафҳо ва вазифаҳои рушди иқтисоди кишварро муайян мекунад, ки ба таъмини истиқлолияти энергетикӣ ва суръатбахшии саноатикунонии мамлакат нигаронида шудааст. Яке аз соҳаҳои афзалиятноки иқтисодиёт ин тараққӣ додани саноати ангишт муайян карда шудааст. Таваҷҷӯҳ ба ангишт, ҳамчун манбаи алтернативии энергия, бахусус дар Ҷумҳурии Тоҷикистон далели набудани истихроҷи гази табиӣ ва нафт, нархи нисбатан пастии он ва фаровонии он иборат аст.

Рушди соҳаи саноати кишвар сохтмони корхонаҳои навро, ки ашёи хоми маъданӣ ва органикиро ба мавод ва маҳсулот табдил медиҳад, истифодаи энергия ва захираҳои моддиро талаб мекунад. Талабот ба манбаҳои энергия ва ашёи хом пайваستا меафзояд, истеҳсоли манбаҳои энергетикӣ бошад, гарантар мегардад ва ифлосшавии муҳити зист ба соҳаи глобалӣ мерасад. Аз ин ҷониб, таҳияи технологияҳои нави комплексӣ, ки аз ҷиҳати экологӣ тоза ва аз ҷиҳати истеҳсоли энергия самарабахш мебошанд мавзӯи муҳими тадқиқоти илмию техникӣ мебошанд. Натиҷаҳои ҷунин таҳқиқот саҳми назаррас дар рушди саноат хоҳанд дошт. Вазифаҳои муҳим ин тағир додани сиёсати таъмини энергетикӣ саноатӣ мебошад, ки онро метавон тавассути даст кашидан аз сӯзонидани мустақими ангишт ба фоидаи технологияҳои нави муосири экологӣ тоза бо истифодаи ангишт рӯ овардан мебошад. Ҳалли масъалаҳои илмӣ-техникӣ мазкур аз истифодаи раванди термоліз ва газификатсияи ангишт иборат буда имкон медиҳад, ки сӯзишвории саҳт ба манбаи гази энергия (CO , H_2 , CH_4) ва дигар маҳсулоти химиявӣ табдил дода шавад. Бо назардошти он ки айни ҳол дар Тоҷикистон ҳаҷми истифодаи ангишти кони Фон Яғноб нисбат ба ангишти дигар конҳо хеле бештар аст, ин таҳқиқот бо истифода аз ангишти ҳамин кон анҷом дода шудааст.

Дараҷаи таҳқиқи мавзӯи илмӣ. Тасаввуроти илмӣ оид ба таҷзияи ҳароратии ангишт аз охири асри XVIII – аввали асри XIX ташаккул ёфта, дар корҳои муҳаққиқони ватанӣ ва хориҷӣ рушд ёфтанд [1–6]. Дар нимаи дуюми асри XIX – аввали асри XX вобаста ба рушди равшанидиҳии газӣ, металлургия ва энергетика асосҳои равандҳои технологияи термоліз ва газификатсияи ангишт гузошта шуда, инчунин тасаввуроти термодинамикӣ ва кинетикӣ оид ба ҳамтаъсирии моддаи карбондор бо агентҳои газификатсия ташаккул ёфтанд [7–17]. Саҳми назаррасро дар рушди консепсияи коркарди мураккаби технологияи ангишт бо гирифтани маҳсулоти газшакл, моеъ ва саҳт олимони машҳури рус Д. И. Менделеев, В. И.

Вернадский, И. М. Губкин ва Н. Н. Семёнов гузоштаанд [7–10]. Дар нимаи дуҷуми асри ХХ тадқиқоти мунтазами таҷрибавӣ оид ба термолиз ва газификатсияи ангиштҳои намудҳои гуногун рушд ёфтанд, ки ба асосноккунии равандҳои оптималии технологӣ равона гардида буданд. Дар қорҳои илмӣ таъсири ҳарорат, суръати гармкунӣ, таркиби муҳити газӣ ва табиати агентҳои газификатсия (буғи об, диоксиди карбон, ҳаво) ба кинетикаи гузаштани равандҳо ва истеҳсоли маҳсулоти мақсаднок омӯхта шудааст [11–18]. Муайян гардид, ки самаранокии равандҳои технологияи коркарди ҳароратӣ аз таркиби петрографӣ, хусусиятҳои сохторӣ ва қисми минералии ангишт вобаста аст [17–31].

Самти алоҳидаи тадқиқот ба омӯзиши ангиштҳои Тоҷикистон бахшида шудааст, ки бо гуногунрангии назарраси хусусиятҳои генетикӣ ва физикавӣ-химиявӣ фарқ мекунанд ва ин имкониятҳои истифодаи онҳоро дар равандҳои термолиз ва газификатсия муайян менамояд [19-21, 27, 31, 32]. Ҳамзамон ангиштҳои қонҳои Фон-Яғноб асосан аз нуқтаи назари геологӣ-иктишофӣ ва сӯзишворию энергетикӣ омӯхта шудаанд [33–42], дар ҳоле ки масъалаҳои коркарди технологияи онҳо бо усулҳои термолиз ва газификатсия то ҳол нокифоя таҳқиқ гардидаанд. Ин ҳолат мубрамияти рисолаи диссертационии мазкур ва зарурати гузаронидани таҳқиқоти мукаммали таҷрибавӣ ва назариявиро барои асосноккунии илмӣ технологияҳои аз ҷиҳати энергетикӣ самаранок ва аз ҷиҳати экологӣ тозаи коркарди ангиштҳои қони Фон-Яғнобро муайян менамояд.

Робитаи таҳқиқот бо барномаҳо (лоихаҳо) ва мавзӯҳои илмӣ дар мувофиқати он бо ҳуҷҷатҳои қалидии стратегӣ-давлатии Ҷумҳурии Тоҷикистон ифода меебад. Таҳқиқот ба Консепсияи рушди соҳаи ангишти Ҷумҳурии Тоҷикистон барои давраи то соли 2040 (бо Қарори Ҷумҳурии Тоҷикистон аз 30 августи соли 2019, № 436 тасдиқ шудааст), Стратегияи рушди иқтисоди “сабз” барои солҳои 2023-2037 (бо Қарори Ҷумҳурии Тоҷикистон аз 30 сентябри соли 2022, № 482 тасдиқ шудааст), ки ворид намудани технологияҳои экологӣ беҳатар ва энергия самаранокро дар саноати ангишт пешбинӣ менамояд, мувофиқ аст. Ин таҳқиқот ҳамчунин бо муқаррароти Стратегияи миллии рушди Ҷумҳурии Тоҷикистон то соли 2030 мутобиқ мебошад, ки Барномаи индустриализатсияи босуръат барои солҳои 2020-2025 (бо Қарори Ҷумҳурии Тоҷикистон аз 30 августи соли 2019, № 436 тасдиқ шудааст, дар бар мегирад.

ТАВСИФИ УМУМИИ ТАҲҚИҚОТ

Мақсади таҳқиқот - таҳияи технологияҳои комплекси коркарди ангишти қони Фон-Яғноб бо мақсади ба даст овардани газҳои энергетикӣ ва технологӣ, инчунин ҳамаи моддаҳо ва маводҳои ҳамзамон ҳосилшаванда мебошад.

Вазифаҳои таҳқиқот - дастёбӣ ба ҳадафи гузошташуда тавассути иҷрои вазифаҳои зерин амалӣ мегардад:

- муайян кардани таркиби моддӣ ва элементии намунаҳои ангишти қони Фон-Яғноб;
- гузаронидани таҳқиқоти кинетикӣ ва равандҳои термолизи ангишти қони Фон-Яғноб барои муайян кардани вобастагии ҳароратӣ ва суръати ҷудошавии ҷузъҳои моддаҳои тезбухоршаванда ва қатрондор аз таркиби ангишт ва моддаҳои минералӣ;
- таҳияи усули ҷудошавӣ ва конденсатсияи моддаҳои тезбухоршаванда ва қатронии таркиби ангишти қони Фон-Яғноб;
- таҳияи технология барои газификатсияи карбони нармшуда ва муайян кардани параметрҳои оптималии ҳосилкунии газҳои энергетикӣ ва технологӣ;
- гузаронидани таҳқиқот оид ба раванди барқарорсозии моддаҳои оксидии усули пирометаллургии коркарди концентратҳои сурбу руҳ тавассути газҳои энергетикӣ генераторӣ;
- таҳияи сохт ва тарҳи реактори дузинагии генератор барои ҳосил кардани карбони нармшуда ва газификатсияи он;
- таҳияи технология бо истифодаи реактори дузинагии генератор барои газификатсияи ангишт.

Объекти таҳқиқот:

- ангишти кони Фон-Яғноб (Чумхурии Тоҷикистон) ва чузъҳои таркиби он;
- системаи газии бисёркомпонентӣ, иборат аз гидроген (H_2), оксиген (O_2), нитроген (N_2), оксиди карбон (CO), дуоксиди карбон (CO_2), буғи об (H_2O), ҳаво ва дигар чузъҳо;
- таркиби моддӣ-минералии ангишт:
- концентратҳои полиметаллии маъданҳои кони Кони Мансур (Чумхурии Тоҷикистон);
- маҷмӯи пайвастагиҳои химиявӣ, ки дар таҳқиқотҳои аналитикӣ ва озмоишӣ истифода мешаванд.

Мавзӯи (предмети) таҳқиқот:

- таҳқиқи хусусиятҳои физикавӣ ва химиявии ангишти кони Фон-Яғноб;
- муайян кардани қувваи гармидиҳии намунаҳои ангишт вобаста ба таркиби он;
- гузаронидани термолизи ангишт ва омӯзиши кинетикаи ҷудошавии чузъҳои таркибӣ;
- таҳлили таркиби химиявии моддаҳои ҷудошаванда ҳангоми термолиз;
- гузаронидани термолизи якҷояи ангишт ва газификатсияи карбони боқимонда барои муайян кардани параметрҳои технологияи бепартов дар истеҳсоли мавод ва гармӣ;
- таҳлили таркиби гази генераторӣ ва муайян кардани қувваи гармидиҳии он;
- таҳқиқи имконияти истифодаи гази генератории ангишти кони Фон-Яғноб ҳамчун моддаи барқароркунанда барои маҳсулоти пирометаллургии концентратҳои полиметаллии маъданҳои Кони Мансур, ки дорои чунин таркиб аст (вазн, %): Pb-45,56; Zn – 4,01; Fe — 20,55; Cu – 2,03; S – 21,78; Si – 3,78; Al – 1,29;
- таҳияи сохтори газогенератори дузинагӣ барои гузаронидани термолиз ва газификатсияи якҷояи ангишт;
- таҳлил ва ҷамъбасти натиҷаҳои омӯзиши таркиб ва хосиятҳои ангишт, параметрҳои технологияи газификатсияи ангишти кони Фон Яғноб.

Навгонии илмӣ таҳқиқот:

1. Термолиз ва таҳлили термогравиметрии ангишти кони Фон-Яғноб гузаронида шуда, моддаҳои тезбухоршаванда ва қатрондор ҷудо гардида, карбони нармшуда ба даст оварда шуд. Муайян гардид, ки: ҷудошавии моддаҳои тезбухоршаванда ва қатронӣ дар ҳароратҳои 90-500°C рух медиҳад, ва дар ҳарорати 650-700°C карбони нармшуда ба вучуд меояд; Конденсатсияи ҳар як чузъи таркиби моддаҳои тезбухоршаванда дар градиенти баръакси ҳарорати ҷудошавии худ сурат мегирад, ки ин имкон медиҳад онҳоро ба ҳолати моеъ табдил дода, мувофиқи таркибашон истифода бурдан мумкин аст; дар муҳити оксидкунанда ҷудошавии моддаҳои тезхориҷшаванда аз ҳароратҳои пасттар оғоз меёбад нисбат ба муҳити инертӣ (аргон), ки ин аз фаъолшавии реаксионии ангишт дар ҳузури оксиген шаҳодат медиҳад. Ҳадди максималии камшавии масса дар ҳароратҳои 420-440 °C ба қайд гирифта мешавад, ки ба марҳилаи фаъолтарини тағирёбии оксидшавию вайроншавии қисми органикии ангишт мувофиқат мекунад. Афзоиши суръати гармкунӣ боиси зиёдшавии баромади моддаҳои тезбухоршаванда мегардад. Дар муҳити инертӣ ин раванд дар тамоми диапазони ҳароратӣ идома ёфта, дар муҳити оксидкунанда сӯхтани ангишт дар ҳарорати 600 °C анҷом меёбад;

оксидшавии карбон бо оксиген мувофиқи реаксияҳои гетерогенӣ бо ташаккули оксиди миёнарави C_2O_4 сурат мегирад, ки энергияҳои фаъолсозӣ барои ташаккул ва таҷзияи он мутаносибан $E_1 = 180$ кДж/мол ва $E_2 = 197$ кДж/мол мебошад.

2. Технологияи самараноки газификатсияи ангишт таҳия карда шуд, ки дар он ҷудошавии моддаҳои тезбухоршаванда ва қатронӣ, ҳамчунин газификатсияи карбони нармшуда ба назар гирифта шуда, имкон медиҳад: карбони ҳосилшударо ҳамчун моддаи барқароркунанда барои металлҳо истифода барад ё онро бо омехтаи оксиген ва буғи об газификатсия намуда, гази генератории таркиби $CO:H_2 = 1:1$ ба даст орад; ба даст овардани гидрогени тоза бо усули конверсияи оксиди карбони таркиби гази генераторӣ бо зиёд намудани эквиваленти микдори H_2 ва ҷудокунии дуоксиди карбон бо тарзи абсорбсионӣ; карбони нармшуда, омехтаи CO ва H_2 , инчунин гидрогени тоза (H_2) метавонанд ҳамчун

моддаҳои фаъол дар металлургия, саноати химиявӣ ва ҳамчун манбаъи самараноки гармӣ (энергия) истифода шаванд; ҳангоми истифодаи 270 кг гидроген (H_2), ки аз газификатсияи 1000 кг ангишти кони Фон-Яғноб бо ин технология ба даст меояд, чун барқароркунанда 27,972 тонна сурб (Pb) -ро аз 32,3 тонна минерали галенит (PbS) Кони Мансур ҷудо намояд.

3. Сохтори газогенератори дузинагии ангишт таҳия гардид, ки имконияти дар як дастгоҳ карбон (C), моддаҳои тезбухоршаванда ва қатрондор, газификатсияи карбон бо ҳосилшавии гази генераторӣ ва хокистар ба даст оянд. Ҳарорати баланди гази генераторӣ ва хокистари ангишт барои ҳосилкунии буғи об, ки дар раванди газификатсияи карбон истифода мешавад, истифода мегардад. Генератори газификатсияи дузинагӣ дорои сохтори компактӣ буда, сарфи моддӣ ва энергетикӣ кам дорад ва партовҳои ифлоскунандаи муҳити зистро тавлид намекунад.

Аҳамияти назариявӣ ва илмию амалии таҳқиқот. Концепсияҳои назариявӣ ва натиҷаҳои таҷрибавии термолиз ва газификатсияи ангишт бо ҳамдигар робитаи зич доранд ва бо ҷудо шудани моддаҳои тезбухоршаванда ва қатронӣ аз таркиби ангишт ҳангоми гармкунии бо ташаккулёбии карбони нармшуда тавсиф меёбанд. Конденсатсияи ҳар як ҷузъи таркиби моддаҳои бухоршаванда ва қатронӣ дар градиенти ҳароратии баръакси ҷудошавии он сурат мегирад, ки ин имкон медиҳад модда ба ҳолати моеъ табдил ёфта, мувофиқи таркибаш дар истеҳсолоти гуногуни химиявӣ истифода бурда шавад.

Натиҷаҳои таҳқиқот ҳангоми ҳисобҳо ва сохтани моделҳои раванди термолиз ва газификатсияи ангиштҳои намуди гуногун истифода мешаванд. Аҳамияти амалии таҳқиқот:

- татбиқи натиҷаҳои таҳқиқот дар корхонаҳои энергетикӣ ва саноатии кишвар имкон медиҳад, ки ангишт бо истифодаи технологияҳои мураккаби бе партов коркард шавад ва карбони тоза, гази энергетикӣ ва технологӣ, хокистари ангишт ва ҷузъҳои таркиби моддаҳои тезбухоршаванда ва қатрондор ҳосил гарданд, ки ин истеҳсолоти самараноки баланд ва бепартов ба муҳити зист мебошад;

- моддаҳои тезбухоршаванда ва қатрондори таркиби ангишт ҳамчун ашёи хом барои истеҳсоли маводҳои гуногун хизмат мекунад;

- хокистаре, ки ҳангоми сӯختани ангишт ҳосил мешавад, ҳамчун илова дар истеҳсоли семент ва дигар маводҳои бастакунандаи соҳаи сохтумонӣ истифода шаванд, инчунин метавонад дар ҳайси пайвастагиҳои оксидӣ барои истихроҷи мақсаднок истифода шаванд;

- гази энергетикӣ генераторӣ манбаи самараноки энергия мебошад, ки дар саноати химиявӣ, энергетика, металлургия ва дигар соҳаҳои хоҷагии халқ истифода мешавад;

- моддаҳои таркибии гази генераторӣ ҳамчун ашёи ибтидоӣ барои синтези аммиак (NH_3) ва истеҳсоли нуриҳои минералии соҳаи агросаноатӣ муайян мегарданд;

- истифодаи реактори дузинагии генератор барои газификатсияи ангишт хароҷоти моддӣ ва энергетикӣ коҳиш дода, идоракунии раванди технологияи коркарди ангиштро беҳтар менамояд;

- натиҷаҳои таҳқиқот на танҳо арзиши илмию техникӣ доранд, балки аз ҷиҳати экологӣ низ муҳим мебошанд, зеро онҳо ба татбиқи технологияҳои бепартови коркарди ангишт мусоидат мекунад.

Нуқтаҳои ба ҷимоя пешниҳод шаванда:

- технологияҳои комплексӣ ва бе партови газификатсияи ангишт барои истеҳсоли газҳои энергетикӣ ва технологӣ, моддаҳои тезбухоршаванда ва қатрондор дар раванди коркарди ангишт ҳосилшаванда ва натиҷаҳои илмӣ ва техникӣ, ки самаранокии истеҳсоли манбаъҳои энергияи баланд аз ангиштро афзоиш медиҳад;

- усулҳои муосир оид ба коркарди ангишт барои истеҳсоли газҳо, ки дар истеҳсоли пайвастагиҳои химиявӣ истифода мешаванд;

- ҳалли технологияи комплексӣ барои истеҳсол ва газификатсияи маводи карбондор дар реактор-газогенератори якҷояшуда.

Дараҷаи эътимоднокии натиҷаҳо. Асосноккунии интихоби мавзӯ ва дурустии натиҷаҳои озмоиш бо ҳаҷми кофии маводҳои таҳқиқотӣ таъмин гардидааст. Дараҷаи эътимоднокии натиҷаҳои таҳқиқот тавассути такроршавии онҳо дар шароити татбиқи тарзҳои гуногуни коркарди ангишт бо технологияҳои таҳияшуда, истифодаи усулҳои муосири таҳқиқот ва асбобҳои дақиқи андозгирӣ, ҳамчунин тавассути усулҳои дақиқи коркарди натиҷаҳои ба даст омада исбот карда мешавад.

Мутобиқати диссертатсия ба шиносномаи ихтисоси илмӣ таъмин карда шудааст. Соҳаи кори илмӣ мувофиқи шиносномаи ихтисоси 2.5. Технологияи химиявӣ (маводҳо ва металлургия) (2.5.1. Технологияи моддаҳои ғайриорганикӣ) аз рӯи бандҳои зерин мувофиқат мекунад:

Банди 1. Равандҳои истеҳсолии ба даст овардани маҳсулоти ғайриорганикӣ: намакҳо, кислотаҳо ва ишқорҳо, нуриҳои минералӣ, изотопҳо ва маҳсулоти ғайриорганикии дараҷаи баланди тозагӣ, катализаторҳо, сорбентҳо, препаратҳои ғайриорганикӣ. Дар кори диссертатсионӣ равандҳои технологияи ба даст овардани маҳсулоти ғайриорганикӣ ҳангоми коркарди мураккаби ангишти кони Фон-Ягноб баррасӣ ва таҳия шудаанд, аз ҷумла ҳосил намудани карбони тоза, гази генераторӣ ва ҷузъҳои он, хокистари ангишт бо таркиби оксидии муайяншуда, моддаҳои тезбуғшаванда ва қатронӣ, инчунин таркиби концентратҳои муайян карда шудаанд, ки барои истифода дар нақшаҳои технологияи истеҳсоли маҳсулоти ғайриорганикӣ мувофиқ мебошанд.

Банди 2. Равандҳои технологӣ (химиявӣ, физикӣ ва механикӣ)-и тағйирёбии таркиб, ҳолат, ҳосият ва шакли ашёи хом ва мавод. Дар кор равандҳои химиявӣ ва физикавӣ-химиявии термолиз ва газификатсияи ангишт таҳқиқ шудаанд, ки бо тағйирёбии таркиб, ҳолати фазаӣ ва ҳосиятҳои ашёи хом ҳамроҳ мебошанд, инчунин интервалҳои ҳароратии ҷараёни марҳилаҳои асосии ин равандҳо муайян гардидаанд.

Банди 3. Усулҳо ва равандҳои ҳифзи муҳити зист аз партовҳои истеҳсоли маҳсулоти ғайриорганикӣ, коркард, истифода ва безараргардонии партовҳои ғайриорганикии истеҳсолӣ. Дар диссертатсия усулҳои коҳиш додани миқдори моддаҳои зараровар ба муҳити зист ҳангоми коркарди ангишт таҳия ва асоснок гардидаанд. Ин усулҳо тавассути татбиқи технологияҳои ҷудокунӣ ва истифодаи моддаҳои тезбуҳоршаванда ва қатронӣ, инчунин истифодаи хокистари ангишт ва гази генераторӣ барои кам кардани партовҳои зараровар то ҳадди ақал амалӣ карда мешаванд. Ҳамчунин усулҳои безараргардонии партовҳои ғайриорганикии истеҳсолӣ низ баррасӣ шудаанд.

Банди 4. Усулҳо ва воситаҳои таҳия, ҳисобҳои технологӣ, лоиҳакашӣ, идоракунии равандҳои технологӣ ва сифати маҳсулот нисбат ба равандҳои истеҳсолии ба даст овардани маҳсулоти ғайриорганикӣ. Дар кор сохтори реактори дузинагии газогенератор таҳия гардида, ҳисобҳои технологияи равандҳои термолиз ва газификатсияи ангишт анҷом дода шудаанд, инчунин усулҳои идоракунии ҷараёнҳои гармӣ ва моддӣ пешниҳод шудаанд. Натиҷаҳои бадастомада метавонанд ҳангоми лоиҳакашӣ ва оптимизатсияи равандҳои технологияи истеҳсоли маҳсулоти ғайриорганикӣ ва манбаъҳои энергия истифода шаванд.

Саҳми шахсии довталаби дараҷаи илмӣ дар муайян намудани самти илмии таҳқиқот, формулировкаи мақсад ва вазифаҳо, асосноккунии интихоб ва истифодаи усулҳои таҳқиқот, гузаронидани таҳқиқотҳои таҷрибавӣ, коркард ва таҳлили маълумотҳо, муайян намудани қоидаҳо ва механизмҳои ҷараёни равандҳои химиявӣ, таҳияи нашрияҳои илмӣ, иштирок дар конференсияҳои илмӣ ва илмӣ-амалӣ, ҳамчунин дар тартибдиҳӣ ва навиштани кори диссертатсионӣ таҷассум ёфтааст.

Тавсиб ва амалисозии натиҷаҳои диссертатсия. Натиҷаҳои асосии рисолаи илмӣ дар конференсияҳои байналмиллалӣ ва ҷумҳуриявии зерин баррасӣ ва муҳокима шудаанд: Конференсияи ҷумҳуриявии илмию амалӣ бо иштироки созмонҳои байналмилалӣ «Рушди инноватсионии илм» (ш. Душанбе, Тоҷикистон, Маркази таҳқиқотҳои инноватсионии технологияҳо, 10 декабри 2020 с.); Конференсияи ҷумҳуриявии илмию амалӣ «Энергетикаи гармӣ ва ҳосиятҳои термофизикии моддаҳо» (ш. Душанбе, Тоҷикистон, Донишгоҳи техникий Тоҷикистон ба номи акад. М.С.Осимӣ, 27-28 августи 2021 с.); V конференсияи

байналмиллалии илмию амалии донишҷӯён, магистрон ва аспирантҳо «Масъалаҳои физикавӣ ва химияи координатсионӣ» (ш. Душанбе, Тоҷикистон, Донишгоҳи миллии Тоҷикистон, 15-16 ноябри 2021 с.); III конференсияи байналмиллалии илмӣ-амалӣ “Роли занон-олимон дар пешрафти илм, инноватсия ва технология” (ш. Гулистон, Тоҷикистон, 24-26 август 2021 с.); XIII конференсияи байналмиллалии илмӣ-амалии «Теплофизика ва технологияҳои интилоотӣ» (ш. Душанбе, Тоҷикистон, пойгоҳи ИВП.ГЭиЭ АМИТ ва донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи акад. М.С.Осими, 17-20 октябри 2021 с.); XV конференсияи байналмиллалии «Металлургияи металлҳои нодир ва қиматбаҳои ранга» ба номи узви вобастаи академияи илмҳои Россия Г.Л. Пашков (ш. Красноярск, Россия, 17-20 октябри 2022; с); конференсияи байналмиллалии илмӣ амалии “Энергетикаи гармо ва ҳосиятҳои теплофизикавии моддаҳо” бахшида ба эълоннамудани солҳои 2020-2040 солҳои бистсолаи омузиш ва тараққиёти илмҳои табиӣ, дақиқ математика дар самти илм ва маориф (ш. Душанбе, Тоҷикистон, 27-28 ноябри 2023 с.); XX конференсияи байналмиллалии илмӣ донишҷӯён, унвонҷӯён ва олимони ҷавон “Прспекти озодӣ- 2024” (ш. Красноярск, Россия, Донишгоҳи федералии Сибир, 15-20 апрели 2024 с.); XII конгресс ва намоишгоҳи байналмиллалии «Металлҳои ранга ва маъданҳо» (ш. Красноярск, Россия, 9-13 ноябри 2024 с.); Шӯрои техникии ҷамъияти саҳомии кушодаи «Азот» (ш. Леваканд, Тоҷикистон, 18 сентябри 2025 с.).

Интишороти аз рӯи мавзӯи диссертатсия. Дар асоси кори диссертатсионӣ 20 мақолаи илмӣ дар нашрияҳои ватанӣ ва хориҷӣ ба таърифи расиданд, аз ҷумла 8 мақола дар нашрияҳои, ки аз ҷониби КОА-и назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон тавсия шудаанд, 9 мақола дар маҷмӯи маводҳои конференсияҳои илмӣ-амалии ҷумҳуриявӣ ва байналмилалӣ пешниҳод ва апробатсия шудаанд. Дар натиҷаи таҳқиқотҳо се патенти ихтироъ ба даст омадааст, ки аз онҳо 2 патенти хурди Ҷумҳурии Тоҷикистон ва 1 патенти Аврусиёи мебошад.

Соҳтор ва ҳаҷми диссертатсия. Диссертатсия аз муқаддима, тавсифи умумии таҳқиқот, панҷ боб, хулоса, натиҷагирӣ ва рӯйхати адабиёт аз 136 номгӯӣ, дар ҳаҷми 149 саҳифаи чопи компютерӣ, 21 ҷадвал, 40 расм ва замимаҳо дар ҳаҷми 7 саҳифа таҳия карда шудааст.

ҚИСМҲОИ АСОСИИ ТАҲҚИҚОТ

Дар муқаддима аҳамияти илмӣ ва амалии мавзӯи асоснок карда шуда, ҳадаф ва вазифаҳои тадқиқот муайян гардидаанд, инчунин навоари илмӣ ва аҳамияти амалии натиҷаҳои ба даст омада тавзеҳ дода мешавад.

Дар боби аввал манбаҳои адабиёт мавриди баррасӣ қарор гирифтаанд, ки дар онҳо маълумот оид ба таркиб ва ҳосиятҳои ангишт, усулҳои коркарди он, таҷҳизоти истифодашаванда, таркиби омехтаҳои газие, ки барои истеҳсоли мавод ва ҳамчун манбаи энергетикӣ ба кор меравад, оварда шудаанд. Ҳамчунин, вазифаҳои асосии диссертатсия муайян карда шудаанд.

Дар боби дуюм хусусиятҳои таркибии ангишти конҳои Фон-Яғноб пешниҳод гардида, методҳои тадқиқоти равандҳои термолиз ва газификатсияи ангишт бо тавсифи асбобҳо ва таҷҳизоти истифодашуда баён карда мешавад.

Дар боби сеюм натиҷаҳои омӯзиши равандҳои термолизи ангишт бо истифодаи кӯраи найчашакл, натиҷаҳои таҳлили термогравиметрии ангишт дар муҳити инертӣ (Ar) ва муҳити оксидкунанда (омехтаи O₂/N₂) пешниҳод шудаанд. Илова бар ин, натиҷаҳои омӯзиши кинетикаи оксидшавии карбони ҳосилшуда дар раванди термолизи ангишт бо оксиген, инчунин тавозуни моддӣ ва гармии раванди газификатсияи ангишт оварда шудаанд.

Дар боби чаҳорум натиҷаҳои таҳқиқот оид ба таҳияи нақшаи технологӣ барои газификатсияи ангишт бо вазифаҳои бисёрмақсадноки коркард ва газификатсияи ангишти пешниҳод мегарданд. Масъалаҳои барқарорсозии сулфидҳои металлҳо бо истифодаи гидроген, ки дар раванди газификатсияи ангишт ҳосил мешавад, таҳлил шудаанд. Барои таъмин намудани

шароити оптималь дар раванди коркарди ангишт ва газификатсияи он, сохт ва тарҳи реактор-газогенератори дузинагӣ таҳия гардидааст.

Дар боби панҷум муҳокимаи натиҷаҳои бадастомадаи таҳқиқот анҷом дода шудааст. Қонуниятҳои асосие, ки дар ҷараёни кор ошкор гардиданд бо шарҳи натиҷаҳои бадастомада ва аҳамияти амалии онҳо оварда шудааст.

Хусусиятҳои технологияи намунаҳои ангишти таҳқиқшудаи кони Фон-Яғноб

Тоҷикистон дорои захираҳои калони ангишт мебошад. Бо вучуди ин захираҳо, натиҷаҳои таҳқиқи хусусиятҳои ангиштҳои конҳои гуногун, аз ҷумла ангишти кони Фон-Яғноб, барои рушди самтҳои муосири рационалӣ ва самараноки истифодаи ангишт, кофӣ нестанд.

Таҳлили намунаҳои ангишт бо истифода аз усулҳои умумии қабулшудаи Грефе гузаронида шуд. Тибқи ин усул, экстраксияи ангишт дар ҳарорати паст бо омехтаи спирту бензол дар таносуби 1:1 дар муддати 3 соат анҷом дода шуд. Барои гузаронидани таҳлили химиявии хокистар, намуна дар кӯраи муфелӣ дар ҳарорати 850 °С дар давоми 3 соат сӯзонда шуд. Таркиби элементии қисми органикии ангишт бо истифода аз усулҳои таҳлили элементӣ муайян гардид. Дар ҷадвалҳои 1 ва 2 натиҷаҳои таҳқиқоти таркиб ва хосиятҳои намунаҳои ангишти кони Фон-Яғноб оварда шудаанд.

Ҷадвали 1. - Хусусияти сифатии ангишти кони Фон-Яғноб

Намунаи ангишт	Таркиби ангишт, мас. %				Гармоғунҷоиши ангишт, кКал/кг	
	W	A	V	S	балад, Q _v	паст, Q _n
1	5,2	23,18	31,6	0,17	6250	6000
2	2,9	20,8	20,7	1,6	7090	6510
3	4,0	23,1	14,4	6,75	7980	7120

Ҷадвали 2. - Таркиби химиявии намунаи ангишти кони Фон-Яғноб

Намунаи ангишт	Таркиби элементӣ, %			Н/С	О/С	Таркиби функционалии ОМУ, мг-экв/г			Баромади экстракти спиртбензолӣ, %
	С	Н	О+N			COOH	ОН	СО	
1	75,4	5,54	19,06	0,61	0,31	0,55	1,10	1,04	5,0
2	84,6	4,20	11,20	0,50	0,12	0,10	0,19	0,40	3,3
3	86,8	4,7	8,50	0,85	0,18	0,01	0,54	0,28	2,5

Муайян намудани ҷузъҳои ғайриорганикии ашёи хоми ангишт барои истифодаи комплексӣ дар истифодабарӣ ва коркарди ангишт, барои коркарди технологияҳои каммасраф ва бепартов, ки амнияти экологиро таъмин менамоянд, лозим аст. Самти муҳими ҳалли масъалаҳои технологӣ ва экологӣ ин муайян кардани миқдори макроэлементҳои ғайриорганикӣ дар таркиби ангишт ва дар маҳсулоти сӯхтани он хокистар мебошад. Натиҷаҳои таҳлили таркиби химиявии намунаҳои хокистари ангишти таҳқиқшуда дар ҷадвали 3 оварда шудаанд.

Ҷадвали 3. – Таркиби химиявии намунаи хокистари ангишти кони Фон-Яғноб

Намунаи ангишт	Миқдори оксидҳо дар таркиби ангишт, мас. %										I ₀
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃		
1	72,1	14,4	9,5	2,2	0,2	0,3	0,3	0,8	0,2		0,15
2	60,2	5,3	16,5	6,4	5,6	0,2	2,2	2,2	1,4		0,50
3	50,4	25,9	5,3	6,8	5,2	0,7	1,0	4,0	0,7		0,23

Натиҷаҳои овардашуда таркиб ва хосиятҳои ангишти кони Фон-Яғнобро нишон медиҳанд. Ангишт хосияти сустҷаспандагӣ дошта, аз рӯи нишондиҳандаҳои технологӣ барои газификатсия ва ҳосил намудани гази генераторӣ, гази синтезӣ, газҳои барқароркунанда ва энергетикӣ, инчунин дигар моддаҳо истифода бурдан мумкин аст.

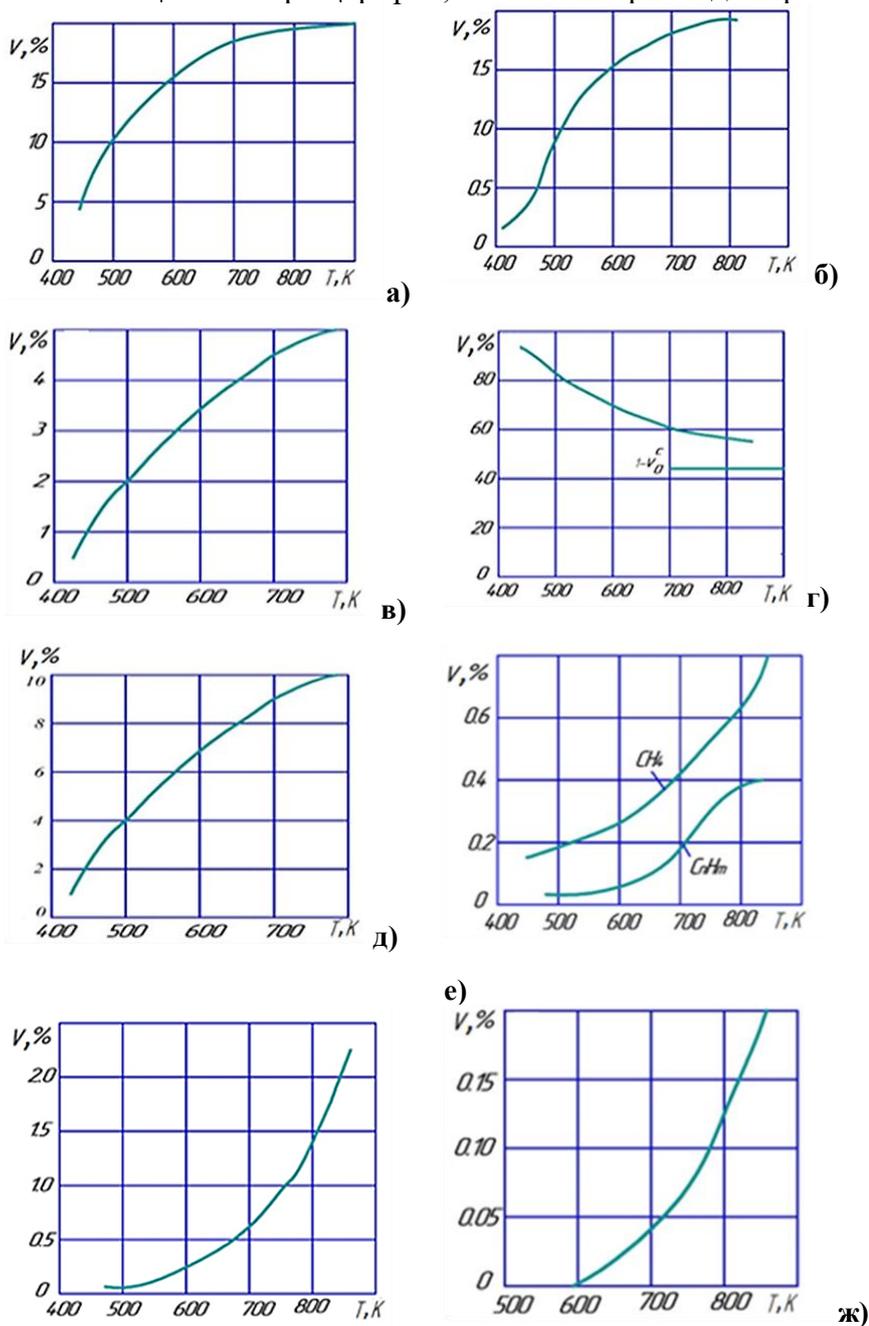
Термолизи ангишти кони Фон-Яғноб барои ҷудо намудани моддаҳои тезбухоршаванда ва ҳосил кардани карбони нармшуда

Моҳияти технологияҳои пешниҳодшудаи газификатсияи ангишт дар он аст, ки дар асл на худӣ ангишт, балки карбони таркиби он газификатсия мешавад. Карбони тоза дар натиҷаи раванди термолизи ангишт ҳосил мегардад. Дар ин раванд моддаҳои

тезбухоршаванда ва қатронӣ аз таркиби ангишт ҷудо шуда, карбони тоза боқӣ мемонад. Газификатсияи карбони тоза имкон медиҳад, ки газӣ генераторӣ ҳосил карда шавад. Истифодаи газӣ генераторӣ ҳамчун манбаи энергия ба коҳиш ва пешгирии партовҳои диоксиди карбон ба атмосфера мусоидат менамояд.

Термолизӣ ангишт бо истифода аз кӯраи найчапакл

Барои гузаронидани раванди термолиз аз намунаи ангишти таҳқиқшуда бо таркиби миёна (ҳисоби масса, %): С – 81,0; Н – 5,2; N – 1,0; О – 2,0; S – 1,4; хокистар – 5,3; намнокии ангишт – 4,0; миқдори моддаҳои тезбухоршаванда – 0,98 %; миқдори қатрон – 4,5 %, истифода бурда шуданд. Ҳангоми гарм кардани намунаи таҳлилии ангишт то ҳарорати 550 °С аз таркиби он моддаҳои тезбухоршаванда ва қатронӣ ҷудо карда шуданд, ки баъдан таркиби онҳо мавриди таҳлил қарор гирифтанд. Миқдори ададии ҷудошавии маҳсулоти таркиби ангишт таҳти таъсири ҳарорат, кинетикаи раванди термолизро инъикос мекунанд.

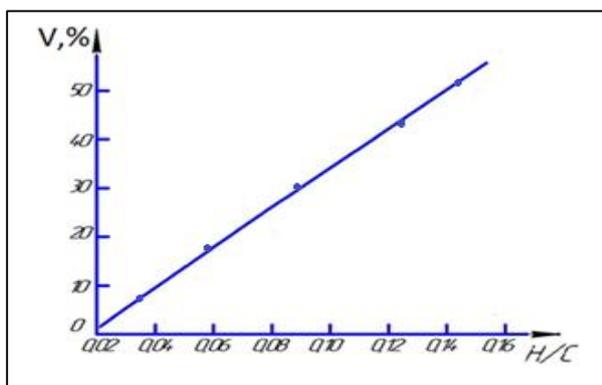


Расми 1. - Вобастагии ҳосилшавии моддаҳои тезбухоршаванда аз ҳарорати гармшавии намунаи ангишти кони Фон-Ягноб барои: а) CO_2 ; б) кислотаҳо; в) қатрон; г) нимкокс; д) CO_2 ; е) CH_4 ва C_nH_m ; ё) CO ; ж) H_2

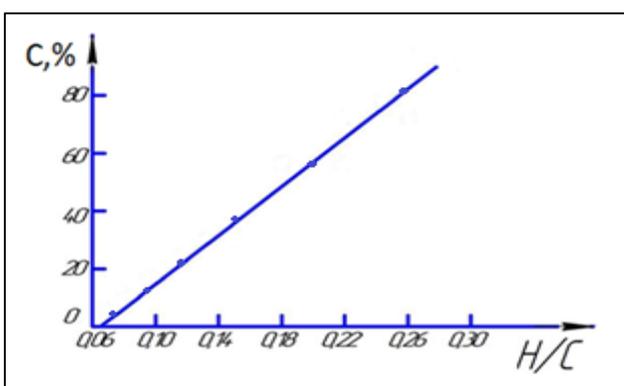
Дар расми 1 вобастагии суръати ҷудошавии моддаҳои тезбухоршаванда аз ҳарорати гармшавии намунаи ангишти кони Фон-Яғноб барои об; кислотаҳо; қатрон; нимкокс; CO_2 ; CH_4 ва C_nH_m ; CO ; H_2 оварда шудааст.

Нишондиҳандаҳои асосии намунаҳои таҳқиқшуда инҳо қайд гардиданд: камшавии массаи намунаҳо дар доираи ҳароратҳои гуногун; ҳарорати максималии гармшавии ангишт $T_{\text{макс}}$; суръати максималии ҷудо шудани моддаҳои тезбухоршаванда $V_{\text{макс}}$; инчунин доимии суръати реаксияи ҷудо шудани моддаҳои тезбухоршаванда $K_{\text{макс}}$, ки ба баландтарин суръати камшавии массаи намуна мувофиқ аст. Илова бар ин, доимии пешэкспоненсиалии K_0 ва энергияи фаълнокии E , ки ба марҳилаҳои асосии ҷудошавии ҳарорати ангишт марбутанд, муайян карда шуданд. Дар натиҷаи омӯзиши кинетикаи ҷудошавии ангишти кони Фон-Яғноб, нишондиҳандаҳои зерин муайян карда шуданд: $V_{\text{макс}} = 31,0\%$, $E = 30,6$ мДж/моль, $K_0 = 14, \text{с}^{-1}$.

Муайян кардани таркиби элементии маҳсулоти тезбухоршавандаи раванди термализ аҳамияти калон дорад. Хусусан, муайян кардани миқдори карбон ва гидроген, инчунин миқдори умумии моддаҳои тезбухоршаванда вобаста ба таносуби атомии гидроген ба карбон (H/C) дар таркиби онҳо муҳим аст. Дар расми 2 вобастагии ҷудошавии ҳаҷмии моддаҳои тезбухоршаванда (V , %) аз таносуби H/C ва дар расми 3 вобастагии ҷудошавии карбон (C, %) аз ҳамон параметр дар таркиби моддаҳои тезбухоршаванда нишон дода шудааст.



Расми 2. – Вобастагии ҳаҷми моддаҳои тезбухоршаванда аз нисбати миқдори гидроген ва карбон дар таркиби он



Расми 3. – Вобастагии байни миқдори карбон (C) ва нисбати гидроген ба карбон (H/C) дар таркиби моддаҳои тезбухоршаванда

Вобастагӣ байни миқдори гидроген ва карбон дар таркиби маҳсулоти тезбухоршаванда хусусиятӣ хаттӣ доранд. Инчунин, боз вобастагии хосиятҳои моддаҳои тезбухоршаванда аз коэффисиенти сӯзишвории ангишт β таҳқиқ карда шуданд.

Дар расмҳои 4 ва 5 вобастагии миқдори нисбати карбон бар оксиген дар таркиби моддаҳои тезбухоршаванда аз қиммати доимии сӯзишвории ангишт β нишон дода шудааст, ки дар асоси формулаҳои зерин ҳисоб карда шудаанд:

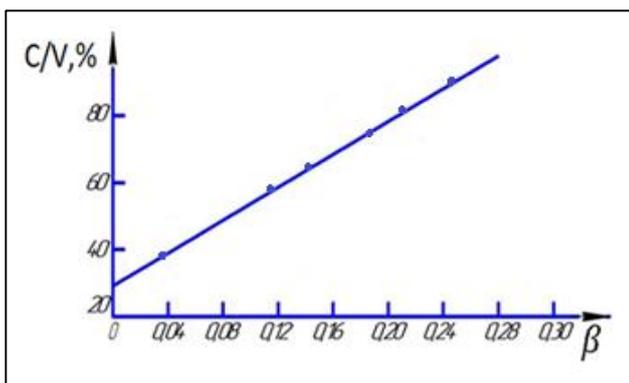
$$C/V = 190\beta + 25 \quad (1), \quad O/V = 66 - 220\beta \quad (2)$$

ки дар он: C – миқдори карбон; O – миқдори оксиген; V – ҳаҷми моддаҳои тезбухоршавандаи ангишт; β – доимии сӯзишвории ангишт мебошад.

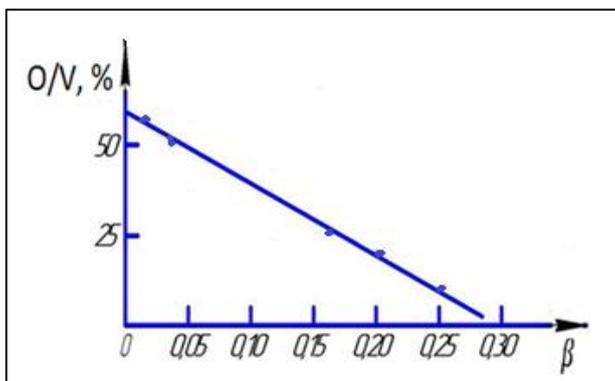
Вобастагӣ қиммати гармии сӯзиши моддаҳои тезбухоршавандаи таркиби ангишт (Q , мДж/кг) аз доимии сӯзишвории ангишт β барои баҳодиҳии потенциали энергетикӣ ангишт ва истифодаи он ҳамчун манбаи энергия, аҳамияти калонро дорад. Ин вобастагӣ бо формулаи зерин муайян карда мешавад:

$$Q = 105\beta + 33 \quad (3)$$

дар ин ҷо: Q – миқдор гармии ҷудошавии моддаҳои тезбухоршаванда, мДж/кг; β – доимии гармӣ, ки нисбати компонентҳои сӯзишро дар таркиби моддаҳои тезбухоршаванда муайян мекунад.



Расми 4. – Таносуби миқдори карбон дар таркиби моддаҳои тезбухоршаванда



Расми 5. – Нисбати миқдори оксиген дар таркиби моддаҳои тезбухоршаванда

Дар расми 6 графикӣ вобастагии хаттии нишондиҳандаҳои β ва Q оварда шудааст. Аз график маълум аст, ки бо афзоиши доимии сӯзишвории ангишт гармии сӯзиш низ ба таври пропорционалӣ меафзояд. Аҳамияти ин параметр барои баҳодиҳии хосияти энергетикӣ ангишт калон аст. Дар формулаи (3) қиммати доимии сӯзишворӣ барои ангишти кони Фон-Яғноб оварда шудааст, ки аз рӯи формулаи зерин ҳисоб карда мешавад:

$$\beta = 2,35 (H+O/8)/(C+S +0/375) \quad (4)$$

дар ин ҷо: H , O , C , S - миқдори гидроген, оксиген, карбон ва сулфурдар таркиби моддаҳои тезбухоршаванда мебошанд.

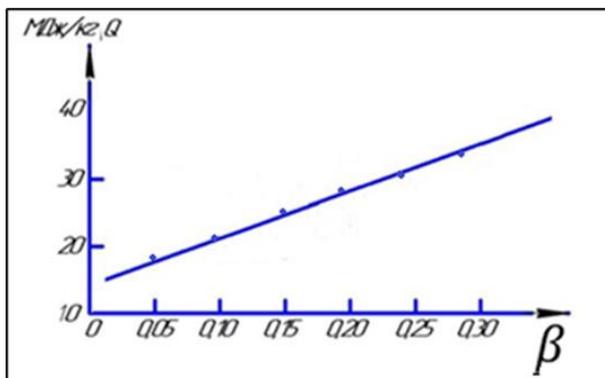
Ҳангоми гарм кардани намунаи таҳқиқотӣ бандҳои химиявии сохтори компонентҳои ангишт вайрон мешаванд ва сабаби ҳосилшавии маҳсулоти ниҳони ҷудошуда мешаванд. Раванди ҷудошавии ангишт ё ҷудо шудани моддаҳои тезбухоршаванда метавонад бо муодилаи реаксияи дараҷаи якум тасвир карда шавад:

$$d(V/C)/dt = K (1-V/C) \quad (5)$$

дар ин ҷо: V – миқдори моддаи ҷудошуда дар муддати вақти t -и гармкунии ангишт; t – вақти гармкунии ангишт; C – миқдори умумии моддаҳои ҷудошуда дар натиҷаи кандашавии бандҳои моддаҳои таркиби ангишт, ($0 \leq V \leq C$); K - доимии суръати реаксияи ҷудошавии моддаҳои бухоршаванда. Доимии суръати реаксия дар асоси муодилаи Аррениус ҳисоб карда мешавад:

$$K = K_0 \cdot e^{-E/(RT)}, \quad (6)$$

дар ин ҷо: K_0 – доимии пешэкспоненциалии суръати реаксия; E - энергия фаъолнокии раванди ҷудошавии моддаҳои тезбухоршаванда; R – доимии универсиалии газӣ; T – ҳарорат дар Кельвин.



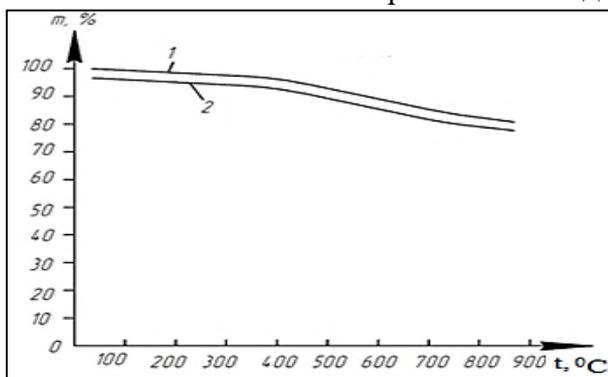
Расми 6. – Вобастагии миқдори сӯзиши моддаҳои тезбухоршаванда аз доимии сӯзишвории ангишт

Ҳаҷми умумии моддаҳои тезбухоршаванда дар муддати вақти t мувофиқи формулаи (5) муайян карда мешаванд. Ин формула мураккабии ҷудошавии компонентҳои тезбухоршавандаро ҳангоми гарм кардани ангишт пурра тавсиф дода наметавонад., аммо вобастагии кинетикаи раванди ҷудошавии моддаҳои тезбухоршавандаро аз нишондиҳандаҳои асосии гармӣ ба монанди: ҳарорат ва вақтро муайян мекунад. Дар таҳқиқи иҷро гардида ин формула барои таҳлили кинетикаи гармкунии ангишти кони Фон-Яғноб, ки таркиби он қаблан оварда шуда буд, истифода шудааст. Қимматҳои кинетикӣ зерин муайян карда шудаанд: $V_{\text{макс.}} = 31,0 \%$; $E = 30,6$ мДж/моль; $K_0 = 14,2 \text{ c}^{-1}$.

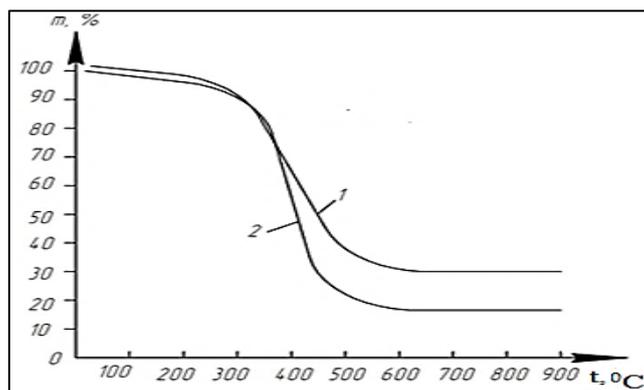
Таҳлили термогравиметрии намунаи ангишти кони Фон-Яғноб

Таҳлили термогравиметрии ангишт ин усули таҳқиқотӣ буда, дар он тағйирёбии массаи намунаи ангишт ҳангоми ҷудошавии он таҳти ҳарорат сабт карда мешавад. Асбобҳои TGA имкон медиҳанд, ки тағйирёбии масса ва ҳарорати намуна бо дақиқияти баланд назорат карда шавад. Бо усули термогравиметрӣ ҷудошавии моддаҳои тезбухоршаванда аз таркиби намунаи ангишти кони Фон-Яғноб таҳқиқ карда шуд. Таҳқиқотҳои таҷрибавӣ дар таҳлилгари термогравиметрии Labsys Evo дар шароити гармкунии ғайриизотермӣ бо суръати 5 ва 10 °C/c гузаронида шуд. Массаи намуна 10 мг ва андозаи миёнаи зарраҳои он 150 мкм буд.

Дар расмҳои 7 ва 8 қачхатҳои ибтидоии намунаҳои ангишт дар муҳити гази инертии аргон ва дар муҳити омехтаи гази оксиген ва нитроген нишон дода шудаанд

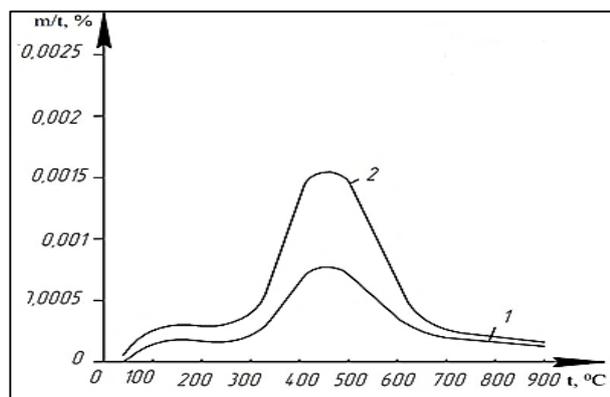


Расми 7. – Графики тағйирёбии массаи ангишт вобаста ба ҳарорат дар муҳити инертии аргон таҳти суръати гармкунии намуна: 1- 5 °C/c; 2- 10 °C/c

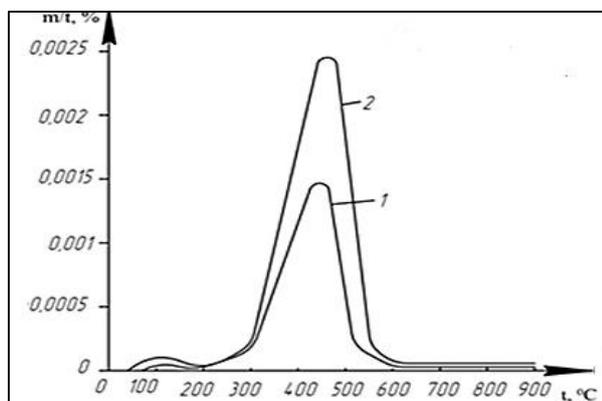


Расми 8. – Графики тағирёбии массаи ангишт вобаста аз ҳарорат дар муҳити оксиген ва нитроген тахти суръати гармшавии намуна: 1- 5°C/c; 2- 10°C/c

Графикҳое, ки дар расмҳои 7 ва 8 оварда шудаанд, имкон медиҳанд, ки оиди хосиятҳои техникийи ангишт маълумот диҳанд. Дар муҳите, ки омехтаи O_2 ва N_2 мавҷуд аст, массаи боқимондаи намуна ба ҳокистарнокии он мувофиқат мекунад ва дар ҳудуде қарор дорад, ки ба арзишҳои дар натиҷаи таҳлили техникий ҳосилшуда наздик мебошанд. Аз ҳарорати 600 °C оғоз намуда, массаи боқимондаи намуна қариб тағйир намеёбад, ки ин оид ба анҷомёбии раванди ҷудо шудани моддаҳои тезбухоршаванда аз таркиби ангишт ишора менамояд. Аз рӯи хусусияти қачхатҳои гармшавии намунаи ангишт дар муҳити гази инертии аргон метавон миқдори баромади компонентҳои тезбухоршавандаро муайян намуд. Талафоти массаи намунаи ангишт ҳангоми расидан ба ҳарорати 900 °C тақрибан 30–33 %-ро ташкил дод. Гармкунии тадриҷӣ дар шароити TGA боиси кам ҷудо шудани компонентҳои тезбухоршаванда мегардад нисбат ба ҳолати гармкунии босуръат дар кӯраи муфелӣ тибқи усули қабулшудаи гузаронидани таҳлил. Дар расмҳои 9 ва 10 вобастагии суръати камшавии массаи намунаҳои ангишти таҳқиқшуда дар муҳити гази инертӣ ва дар омехтаи гази оксиген бо нитроген нишон дода шудааст.



Расми 9. – Вобастагии суръати ҷудошавии намунаи ангишт аз ҳарорат дар муҳити инертии аргон тахти суръати гармкунии: 1-5°C/c; 2- 10°C/c



Расми 10.– Вобастагии суръати ҷудошавии намунаи ангишт аз ҳарорат дар омехтаи гази O_2 ва N_2 тахти суръати гармкунии: 1-5°C/c; 2- 10°C/c

Муқоисаи хусусияти ҷудо шудани моддаҳои тезбухоршаванда дар шароитҳои гуногуни атмосферӣ метавон қайд кард, ки дар муҳити оксидкунанда раванд нисбат ба муҳити инертӣ дар ҳароратҳои пасттар оғоз меёбад. Камшавии максималии массаи намунаи ангишт дар фосилаи ҳароратии 420–440 °С мушоҳида мегардад. Камшавии умумии масса дар ҳузури оксиген аз нишондиҳандаҳои монанд дар муҳити аргон бештар буда, аз таъсири оксидкунандаи оксигенӣ шарҳ медиҳад. Ин фарқият хусусан ҳангоми суръатҳои пасти гармкунии бештар ба назар мерасад.

Баланд бардоштани суръати гармкунии намуна то 10 °С/с дар ҳамаи марҳилаҳои ҷудокунии боиси афзоиши назарраси ҳарорати максималӣ T_{max} мегардад. Дар ин ҳолат, фарқи ΔT_{max} дар муҳити аргон аз 83 °С то 153 °С ва дар муҳити оксиген аз 69 °С то 139 °С тағйир меёбад, ки ба қуллаҳои суръати максималии ҷудошавии ангишт дар қачхатҳои дифференсиалии TGA мувофиқат мекунад.

Афзоиши суръати гармкунии ангишт боиси зиёд шудани моддаҳои тезбухоршаванда мегардад. Дар муҳити аргон ҷудо шудани моддаҳои тезбухоршаванда дар тӯли тамоми раванди гармкунии идома меёбад, вале бо суръати паст. Дар муҳити оксидкунанда раванди сӯختани намунаи ангишт дар ҳарорати тақрибан 600 °С ба анҷом мерасад. Интервали асосии ҳарорат барои муайян кардани параметрҳои кинетикии раванд, аз қабали энергияи ғайбӣ, константаи суръат ва дараҷаи реаксия истифода мешавад, ки онҳо аз маълумоти муҳим оид ба механизми ҷудошавии ангишт иборатанд.

Метавон хулоса намуд, ки муайян намудани модели табдили термохимиявии ангишти кони Фон-Яғноб бо истифода аз таҳлили термогравиметрӣ имкон медиҳад, ки таркиби моддаҳои тезбухоршавандаи ҳангоми истифодаи ангишти ҷудошаванда муайян намуда, ба истифодаи мақсадноки минбаъдаи онҳо мусоидат намояд. Ҳангоми муқоиса намудани ҷудошавии моддаҳои тезбухоршаванда дар муҳитҳои гуногун мушоҳида мегардад, ки дар атмосфераи оксидкунанда ин раванд нисбат ба муҳити инертӣ дар ҳароратҳои пасттар оғоз меёбад. Қошии максималии массаи ангишт дар фосилаи ҳароратии 420–440 °С ба назар мерасад. Илова бар ин, бо зиёд шудани суръати гармкунии намуна шиддати ҷудо шудани компонентҳои тезбухоршаванда меафзояд.

Таҳқиқи кинетикаи оксидшавии карбони нармшуда бо оксиген

Дар раванди газификатсияи ангишт реаксияи сӯختани он, яъне реаксияи таъсири карбон бо оксиген, нақши муҳим мебозад. Ин реаксия аз рӯи ду марҳила ҷараён мегирад, ки яке аз суръати умумии раванд ва дигаре аз ҳосилшавии газ иборат аст. Марҳилаи якум оксидшавии карбон мебошад, дар ҳоле ки марҳилаи навбатӣ сӯختани карбон ба ҳисоб меравад. Реаксияи сӯхташавии карбон бо чунин суръат ҷараён мегирад, ки дар он консентратсияи оксиген дар сатҳи реаксионӣ аз миқдори зарурӣ 3–4 % зиёд буда, ҳарорат аз 700–800 °С баландтар мебошад. Ҳамтаъсиркунии оксиген бо карбонро метавон аз нуқтаи назарияи реаксияҳои гетерогенӣ тавсиф намуд. Тибқи ин назария, раванди оксидшавии карбон бо оксиген марҳилаҳои зеринро дар бар мегирад: а) адсорбсияи оксидкунанда дар сатҳи адсорбент, яъне карбон; б) ҳосил шудани пайвастагии мобайнии оксиген бо карбон дар сатҳи карбони сахт; в) ҳамкориҳои пайвастагии мобайнӣ бо реагентҳои реаксия, яъне бо карбон ва оксиген, бо ҳосил шудани маҳсулоти реаксия; г) бартараф кардани маҳсулоти реаксия аз минтақаи реаксионӣ ба ҷараёни газ. Ҳамин тавр, реаксияи оксидшавии карбон қабат ба қабат ҷараён гирифта, то пурра масраф шудани он идома меёбад.

Механизми гузаштани раванди оксидкунонии карбон бо ёрии реаксияҳои зерин ифода меёбанд:



Суръати умумии реаксияи оксидшавии карбон аз суръати марҳилаи маҳдудкунандаи раванд, яъне марҳилаи сусттарин вобаста аст. Агар марҳилаи маҳдудкунандаи раванд реаксияи (9) бошад, раванд дар соҳаи кинетикӣ ҷараён мегирад.

Дар кори мазкур нишон дода шудааст, ки адсорбсияи оксидкунанда дар сатҳи карбон ҳатто дар фишорҳои хеле пасти оксигени O_2 ва ҳатто дар ҳарорати нисбатан баланд ба амал меояд. Аз ин рӯ, раванди абсорбсияи оксидкунанда ба сатҳи карбон амалан ба суръати оксидшавии он ва ба дараҷаи реаксия нисбат ба оксиген таъсири назаррас намерасонад. Дар ин ҳолат, муодилаи кинетикии реаксияи (8)-ро метавон ба шакли зерин тасвир намуд:

$$-dC/dt = K_o \cdot (S - S_f), \quad (10)$$

$-dC/dt$ - суръати масраф шудани оксиген дар сатҳи ангишт тибқи реаксияи (8); K_o - доимии суръати реаксия (8); S – сатҳи реаксионии карбон; S_f – сатҳи карбон, ки бо оксиди сатҳии C_2O_4 ишғол шудааст. Муодилаи кинетикии реаксияи (9)-ро метавон чунин ифода кард:

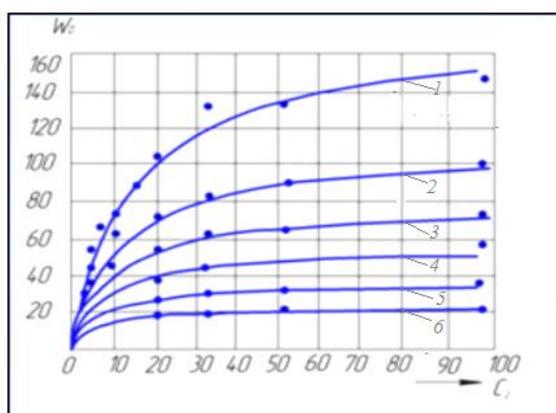
$$-dx/dt = K_p \cdot S_f \cdot C, \quad (11)$$

$-dx/dt$ - суръати ҷудошавии оксиди C_2O_4 тибқи реаксияи (9); K_p - доимии суръати реаксияи (9); C –концентратсияи оксиген дар сатҳи реаксионии ангишт. Дар ин ҳолат, доимии суръати реаксияҳои K_p ва K_o ба муодилаи Аррениус иттиҳод намуда, ба шакли зерин ифода меёбанд:

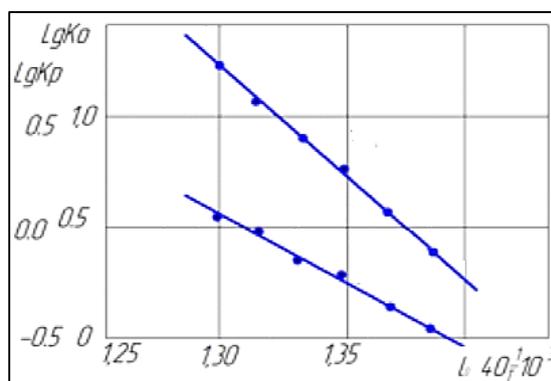
$$K_o = K_{o1} e^{-E_1/RT} \quad \text{и} \quad K_p = K_{p1} e^{-E_2/RT}, \quad (12)$$

дар ин ҷо: K_{o1} и K_{p1} - доимии пешэкспоненсиалӣ дар муодилаи Аррениус; E_1 и E_2 – энергия фаъолнокии реаксияи (8) ва (9); R - доимии универсалии газ; T -ҳарорати оксидкунии карбон бо Келвин.

Дар расми 11 вобастагиҳои таҷрибавии суръати оксидшавии карбон дар ҳароратҳои гуногун ва бо тағйир додани концентратсияи оксиген ба даст оварда шудаанд.



Расми 11. – Вобастагии суръати оксидшавии ангишт аз миқдори оксиген дар омехтаи реаксионӣ таҳти ҳароратҳои °C: 1- 497; 2- 487; 3-477; 4-467; 5-457; 6-720



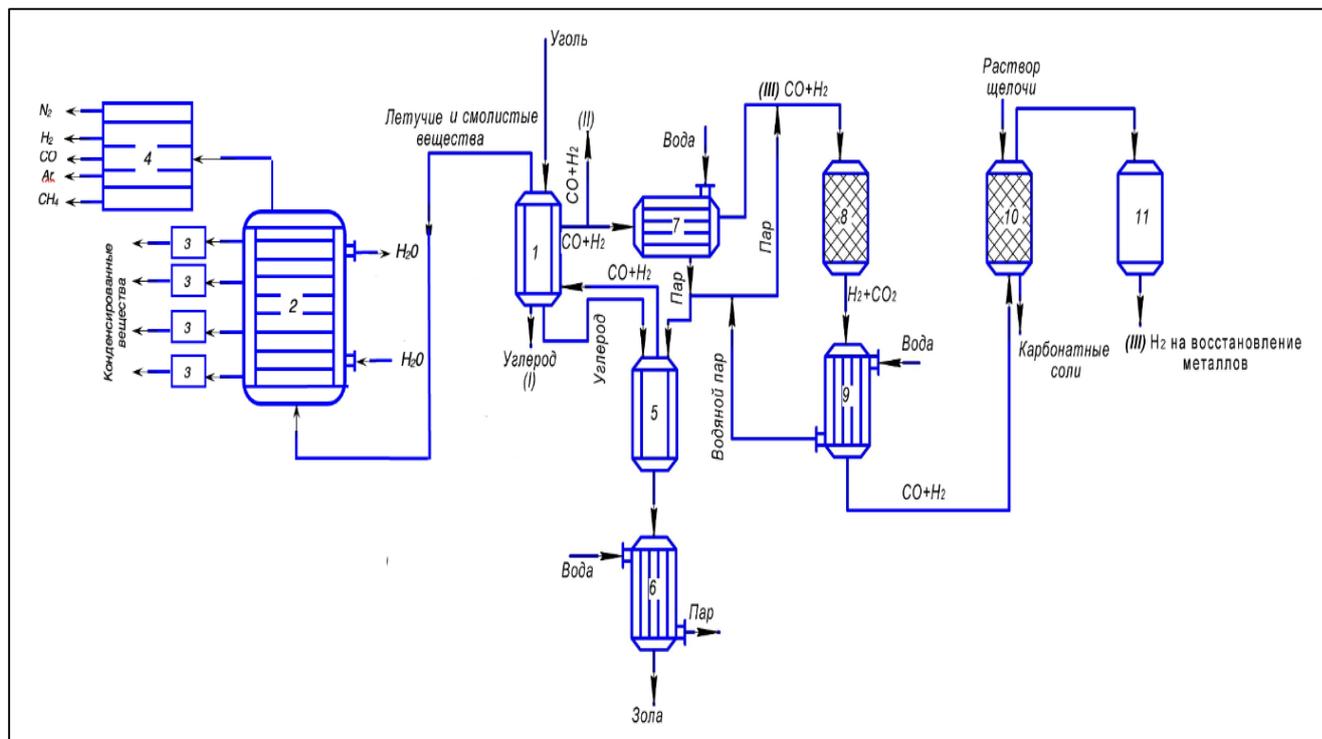
Расми 12. – Вобастагии доимии суръати ҳосилшавии C_2O_4 (K_o) ва ҷудошавии C_2O_4 (K_p) аз қиммати баръакси ҳарорати раванди оксидкунии карбон

Дар расми 12 вобастагии доимии суръат (K_o ва K_p) аз қимматҳои ҳарорати баръакс $1/T$ оварда шудаанд. Аз таҳлили кунҷҳои хатҳои моили вобастагиҳои ҳароратӣ муайян карда шуд, ки барои реаксияи (8) қимматҳои энергияи фаъолнокии $E_1 = 180$ кДж/моль, ва барои реаксияи (9) $E_2 = 197$ кДж/моль баробар мебошад. Фарқи нозизи байни ин бузургӣҳо, ки ҳамагӣ 9,4 %-ро ташкил медиҳанд, аз монанд будани табиати энергетикӣ ин реаксияҳо

шаҳодат медиҳад. Ин имконият медиҳад, ки чунин ҳулоса барорем: реаксияҳои (8) ва (9)-ро ки ба марҳилаҳои ҳосилшавӣ ва ҷудошавии оксидкунандаи сатҳӣ мувофиқат мекунанд, дар ҳолати каммувозинатӣ қарор дошта, ба суръати умумии оксидшавии карбон таъсири ҳалқунанда расонида наметавонанд.

Технологияи бисёрмақсадноки коркард ва газификатсияи ангишти кони Фон-Ягноб

Нақшаи технологияи газификатсияи ангишт бо таъиноти бисёрфункционалӣ дар расми 13 нишон дода шудааст. Технологияи мазкур пайдарпайии амалиётҳои коркарди ангишт ва ҳосилшавии маҳсулоти ҳамроҳро дар бар мегирад



Расми 13. - Нақшаи технологияи бисёрфункционалии коркарди ангишт ва газификатсияи карбон: 1 - реактори термолизи ангишт; 2 – манраи конденсатсионӣ барои хунок кардани моддаҳои газӣ-қатронӣ; 3 - коллекторҳои моддаҳои сабуки тезбухоршаванда ва қатрондор; 4 — ҷудокунандаи омехтаи газӣ аз моддаҳои сабуки тезбухоршаванда ва қатронӣ; 5 - генератори газии карбон; 6 - гармидиҳандаи I барои хунок кардани ҳокистар; 7 - гармидиҳандаи II барои хунок кардани газии генераторӣ бо таркиби $CO+H_2$; 8 - реактори конверсияи газии CO ; 9 - гармидиҳандаи III барои хунок кардани газии таркибаш H_2+CO_2 ; 10 - абсорбери ишқории SO_2 ; 11 - конденсатори буғи об

Ангишт дар реактори дуқабатаи гармшаванда, ки тавассути корпуси дохилии он то ҳарорати $680-700\text{ }^\circ\text{C}$ гарм карда мешавад, раванди термолизро мегузаронад, ки дар он моддаҳои тезбухоршаванда ва қатронӣ, инчунин миқдори муайяни омехтаи газҳо ҷудо мешаванд. Аввал аз таркиби ангишт намӣ ҷудо мешавад, сипас то ҳарорати $350\text{ }^\circ\text{C}$ моддаҳои тезбухоршаванда ва компонентҳои осон ҷудошаванда аз таркиби ангишт мебароянд ва бо баланд шудани ҳарорат то $500-550\text{ }^\circ\text{C}$ моддаҳои қатронӣ ҷудо мешаванд, ки ба ҳосилшавии нимкокс мусоидат мекунанд. Дар ҳамин вақт раванди графитизатсияи карбон оғоз меёбад. Нимкоксии ҳосилшуда дар ҳарорати $680-700\text{ }^\circ\text{C}$ ба моддаи тозаи карбонӣ дар омехта бо компонентҳои ғайриорганикии таркиби ангишт ҳосил мешавад.

Моддаҳои тезбухоршаванда ва қатронӣ, инчунин газҳо ҷудо карда мешаванд ва вобаста ба таркибашон бо мақсадҳои гуногун истифода мешаванд. Пас аз термолиз (1) карбони нармшуда метавонад ба ду роҳ истифода шавад: а) ҳамчун реагенти барқароркунанда дар равандҳои металлургӣ (хатти 1); б) барои газификатсия дар генератори газӣ (5) бо истифода аз оксидкунандаҳо: оксиген, ҳаво, буғи об ё омехтаи онҳо (хатти 11). Пас аз раванди газификатсияи карбон дар генератори газӣ (5), ҳокистари ҳосилшударо барои хуноккунӣ ба дастгоҳи хуноккунӣ (6) фиристода мешавад.

Хокистари хунукшударо дар истехсоли маводҳои сохтумонӣ ба монанди семент ва газобетон истифода бурдан мумкин аст.

Барои муайян кардани параметрҳои равандҳои коркарди ангишт ва ҳосил кардани маҳсулот, намунаи ангишт аз кони Фон-Яғноб истифода шудааст, ки таркибаш чунин аст (ҳисоб ба масса, %): карбон (C) - 81.0; гидроген (H) - 5.2; нитроген (N) - 1.0; оксиген (O) - 2.0; сулфур (S) - 1.4; хокистар - 5.3; намӣ - 4.0, моддаҳои тезбухоршаванда - 0.98; қатронҳо - 4.5.

Дар ҷадвали 4 натиҷаҳои раванди термолиз барои 1000 кг ангишти таркиби дар боло зикр шуда, оварда шудааст.

Ҷадвали 4. – Натиҷаи термолизи 1000 кг ангишт

Даромади ашё			Баромади маҳсулоти термолизи ангишт		
Модда	кг	%	Модда	кг	%
Ангишт	1000	100	Буғи об	40,0	4,0
			Моддаҳои сабуки тезбухоршаванда	9,8	0,98
			Моддаҳои қатронӣ	45	4,5
			Газҳо	42,2	4,22
			Карбон + Хокистар	863,0	86,3
Ҷамагӣ	1000	100	Ҷамагӣ	1000	100

Дар ҷадвали 5 натиҷаҳои газификатсияи карбони нармшуда оварда шудааст. Натиҷаҳо нишон медиҳанд, ки ҳангоми газификатсияи карбон дар се ҳолат нисбати миқдорҳои оксидунандаҳо (O_2 ва H_2O) ба карбон дар таркиби гази генераторӣ, миқдори CO устувор монда, миқдори H_2 тағйир меёбад.

Ҷадвали 5. - Натиҷаҳои газификатсияи карбон таҳти ҳарорати $t = 760 - 1300$ °C

Хароҷоти ашё			Даромади маҳсулоти газноккунонӣ		
Модда	кг	%	Модда	кг	м ³
Таркиб а) $C: O_2:H_2O=1:0,35:0,3$; Ҳарорати газификатсияи карбон 1300 °C					
карбон	810,0	40,8	оксиди карбон	1890	1512
оксидҳои минералӣ	53,0	2,7	гидроген	40,5	453,6
оксиген	756,0	38,1	хокистар	53,0	-
буғи об	364,5	18,4	-	-	-
Ҷамагӣ	1983,5	100	Ҷамагӣ	1983,5	1965,6
Таркиб б) $C:O_2:H_2O=1:0,3:0,4$; Ҳарорати газификатсияи карбон 760 °C					
карбон	810,0	40,6	оксиди карбон	1890,0	1512
оксидҳои минералӣ	53,0	2,7	гидроген	52,0	604,8
оксид	646,0	32,3	хокистар	53,0	2,7
Буғи об	486,0	24,4	-	-	-
Ҷамагӣ	1995,0	100	Ҷамагӣ	1995,0	
Таркиб в) $C:O_2:H_2O=1:0,325:0,35$; Ҳарорати газификатсияи карбон 980 °C					
карбон	810,0	40,7	оксиди карбон	1890,0	1512
оксидҳои минералӣ	53,0	2,7	гидроген	47,25	529,2
оксиген	702,0	35,3	хокистар	53,0	2,6
буғи об	425,25	21,3	-	-	-
Ҷамагӣ	1990,25	100	Ҷамагӣ	1990,25	100

Ҳамин тавр, нисбати миқдори оксидунандаҳо, муносибати оксиди карбон (CO) ва гидрогенро (H_2) дар таркиби гази генераторӣ муайян мекунанд. Дар ҳамин ҳолат, бояд қайд кард, ки ҳарду компонент CO ва H_2 дорои энергияи гармидиҳии хеле баланд мебошанд. Энергияи гармидиҳии гидроген (H_2) 12770 кДж/м³ аст, дар ҳоле ки энергияи гармидиҳии оксиди карбон (CO) 12640 кДж/м³ мебошад. Дар ҳароратҳои то 830 °C фаъолияти барқароркунии CO аз фаъолияти H_2 зиёдтар аст, вале дар ҳароратҳои аз 830 °C боло бартарӣ ба тарафи H_2 мегузарад.

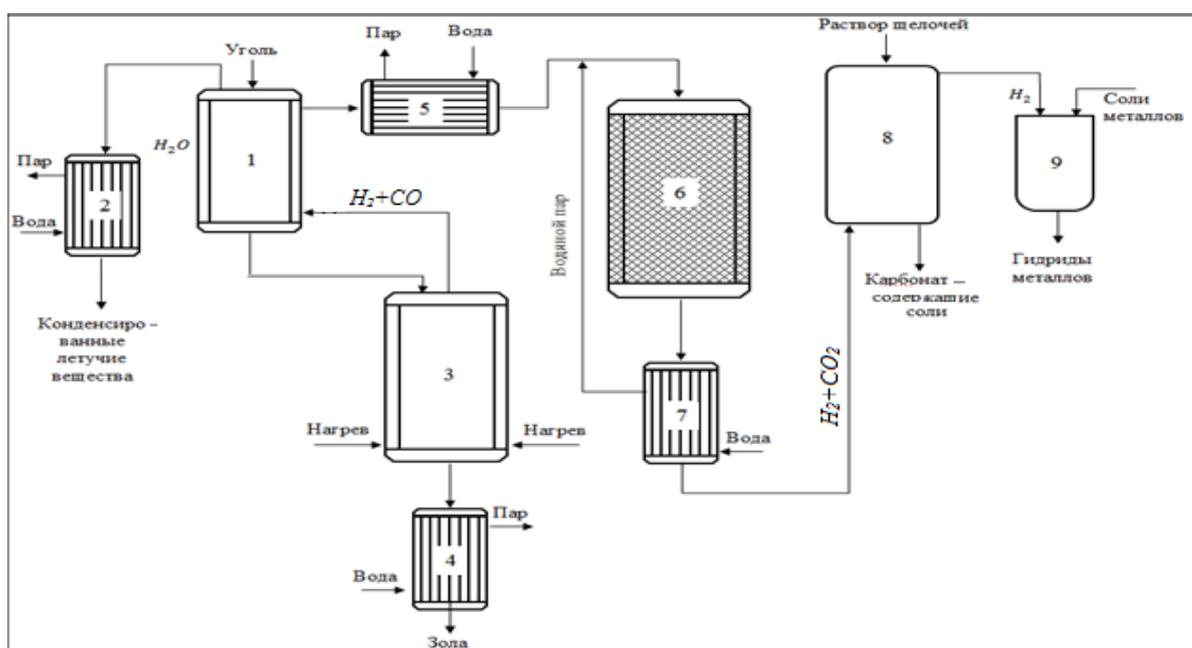
Умуман, ҳангоми газификасияи 1000 кг ангишти кони Фон-Яғноб бо се тарзи газификатсия, ғайр аз моддаҳои тезбухоршаванда, қатронӣ ва хокистар, ки миқдорашон аз таркиби ангишт вобаста аст, гази генераторӣ бо таркиби: CO – 1890 кг, H_2 бо миқдорҳои 40,5 кг; 47,25 кг ва 52 кг, яъне дар маҷмӯъ 1930,5–1942 кг ҳосил мешавад. Ин таркиби гази

генератори метавонад ҳамчун ашёи хом ба ҳайси гази барқароркунанда дар металлургия ё ҳамчун ашёи хом дар саноати химия истифода бурда шавад. Газ барои синтези аммиак (NH_3), истеҳсоли кислотаи нитрат (HNO_3), карбамид ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) ва дигар пайвастиҳои химиявӣ истифода бурда мешавад. Барои зиёд кардани миқдори гидроген дар таркиби газ, оксиди карбон (CO)-ро ба диоксидаи карбон (CO_2) конверсия менамоянд.

Барқарорсозии концентрати руху симоб бо истифодаи аз гидрогени газификасияи ангишти кони Фон-Яғноб ҳосилшуда

Нақшаи технологияи ҳосил кардани газҳо аз ангишт, бо мақсади ҳосил кардани гидроген барои барқарорсозии металлҳо, дар расми 14 нишон дода шудааст.

Оксиди карбон (CO) ва гидроген (H_2) ба қатори газҳои барқароркунандаи фаъол дохил мешаванд, ки дар равандҳои барқароркунӣ дар соҳаи металлургияи ва технологияи химиявӣ васеъ истифода бурда мешаванд. Ин компонентҳо метавонанд бо оксиди металлҳо ба реаксия рафта, онҳоро то ҳолати металлӣ барқарор намоянд. Дар навбати худ онҳо ба маҳсулоти газии устувор дар шакли CO_2 ва H_2 мегузаранд.



Расми 14. – Нақшаи технологӣ барои коркарди ангишт бо мақсади ҳосил намудани гидроген барои барқарорсозии металлҳо: 1 - реактори гармкунии ангишт; 2 - манораи конденсатсионӣ; 3 – генератори газӣ; 4, 5, 7 — таҳвилдиҳандаҳои гармӣ; 6 - реактори конверсияи CO ; 8 - абсорбери ишқории CO_2 ; 9 - реактори барқарорсозии металлҳо бо гидроген

Маълумотҳои дар ҷадвали 6 оварда шуда, натиҷаҳои баланси моддии коркарди 810 кг карбонро нишон медиҳанд, ки аз 1000 кг ангишти кони Фон-Яғноб бо истифода аз технологияи таҳияшудаи ҳосил кардани гидроген ба даст омадааст.

Ҷадвали 6. - Натиҷаҳои тавозуни моддии газификасияи карбон ва конверсияи оксиди карбон

Воридоти ашёи хом			Ҳосили маҳсулот		
Модда	кг	%	Модда	кг	%
Газификасияи карбон бо буғи об					
Кабон	810	39,3	Оксиди карбон	1890	93,3
Буғи об	1215	60,7	Гидроген	135	6,7
Ҳамагӣ	2025	100	Ҳамагӣ	2025	100
Конверсияи оксиди карбон бо буғи об					
Оксиди карбон	1890	58,3	Диоксидаи карбон	2970	91,7
Буғи об	1215	37,5	Гидроген	270	8,3
Гидроген	135	4,2	-	-	-
Ҳамагӣ	3240	100	Ҳамагӣ	3240	100

Равандҳои газификасияи конверсия дар нисбатҳои молярии зерин гузаронида шудаанд: $\text{C}:\text{H}_2\text{O} = 1:1$ ва $\text{CO}:\text{H}_2\text{O} = 1$, ки аз самаранокии реаксияҳои конверсияи буғии карбон ва

оксиди карбон шаҳодат медиҳанд. Дар натиҷа гази генераторӣ ҳосил мешавад, ки миқдори гидроген дар таркиби он баланд буда, метавонад дар саноати металлургӣ ва равандҳои химиявӣ, ки ниёз ба барқароркунандаҳои фаъол доранд, истифода бурда шавад.

Барои таҳқиқот намунаи концентрати кони Мансур бо таркиби минералии зерин (ҳисоб ба масса, %): $PbS - 46,0$; $ZnS - 5,10$; $CuFeS_2 - 5,04$; $FeS_2 - 34,64$; $SiO_2 - 7,12$; $Al_2O_3 - 2,10$, истифода бурда шудааст.

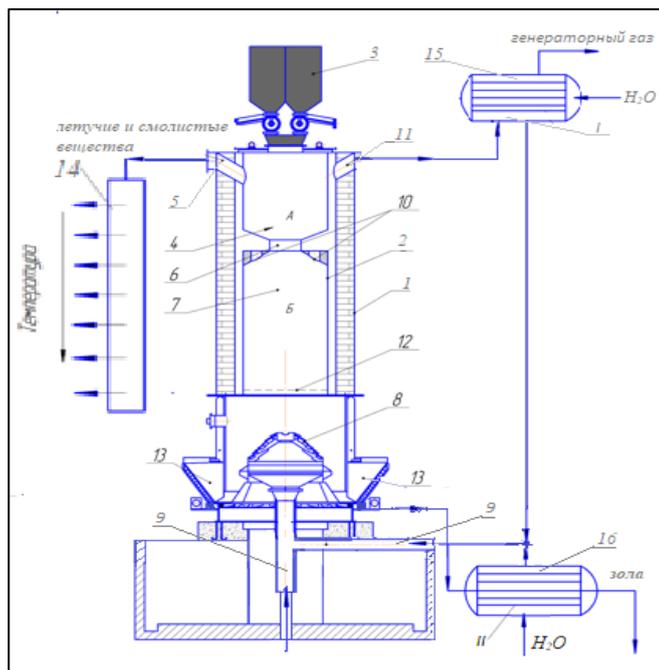
Равандҳои барқарорсозии сурб ва руҳ аз сулфидҳои онҳо бо истифодаи гидроген ҳамчун барқароркунанда метавонанд бо ёрии формулаҳои химиявии зерин ифода шаванд:



Дар кори мазкур бо усули термодинамикӣ имконпазирии барқарорсозии сулфидҳои сурб, руҳ, оҳан ва мис бо истифодаи гидроген ва гази табиӣ дар ҳароратҳои $900-1300^\circ C$ асоснок карда шуда, ҳамзамон таҷрибавӣ нишон дода шудааст. Таҳқиқотҳои таҷрибавӣ оид ба барқарорсозии металлҳо аз сулфидҳои онҳо бо гидроген дар ҳароратҳои зикршуда нишон доданд, ки бо баланд шудани ҳарорат ва вақти коркарди концентрат дараҷаи барқарорсозии металлҳо меафзояд. Дар ҳамин ҳол, сурб дар ҳарорати $1300^\circ C$ давоми 40 дақиқаи коркарди сулфиди сурб пурра барқарор мешавад, аммо дар ҳамин шароит дараҷаи барқарорсозии руҳ, оҳан ва мис аз сулфидҳои онҳо мутаносибан $47,12\%$, $19,57\%$ ва $5,35\%$ ташкил медиҳанд.

Сохтор ва тарҳи генератори дузинагӣ

Барои самаранок гузаронидани раванди коркарди ангишт ва газификасияи карбон, тарҳи реактор-генератори дузинагӣ таҳия шудааст, ки аз қисмҳои А ва Б иборат аст (расми 15).



Расми 15. – Генератори гази дузинагӣ барои газификасияи ангишт: А марҳилаи болои газогенератор: реактори гармкунии ангишт; В марҳилаи поёни газогенератор: газогенератори карбон; 1-корпуси берунии реактор бо футеровка; 2 корпуси дохилии пӯлодӣ; 3даргоҳи боркунӣ барои ворид кардани ангишт ба реактор; 4 -камераи реактори гармкунии ангишт ва ҳосилкунии карбони пластикӣ; 5-итусер барои хорич кардани моддаҳои сабуки тезбухоршаванда ва қатронӣ аз ангишт; 6-дастгоҳ барои интиқоли карбон аз реактори гармкунии ангишт ба газогенератор; 7-камераи газогенератор барои газификасияи карбон; 8-решёткаи гардишкунанда барои тақсим намудани оксидкунандаи газмонанд дар ҳаҷми минтақаи газификасияи карбон; 9-итусери воридотӣ барои ворид намудани моддаҳои оксидкунанда ба реактор; 10-қисми шабакавии девораи корпуси дохилии реактор барои гузариши гази генераторӣ аз минтақаи реаксия ба фазои байниқабати реактор; 11-итусери барориши гази генераторӣ барои интиқоли он аз реактор ба деги утилизатсионӣ; 12-решетка барои нигоҳдорӣ зарраҳои карбони нопурра ба реаксия рафта; 13-датсгоҳи берункунӣ хокистар аз дохили реактор; 14- манораи конденсатсионӣ барои хунуккунӣ моддаҳои сабуки тезбухоршаванда ва қатронӣ ва табдилдиҳиши онҳо аз ҳолати газӣ ба моеъ; 15- деги утилизатсионӣ гармӣ барои хунуккунӣ гази генераторӣ ва истеҳсоли буги об; 16 - деги утилизатсионӣ гармӣ барои хунуккунӣ хокистар ва истеҳсоли буги об

Сохтор ва тарҳи таҷҳизоти пешниҳодшуда, талафоти гармиро дар он ба ҳадди минималӣ мерасонад, чунки тамоми равандҳои газификасияи ангишт дар минтақаҳои ба ҳам пайвасти як таҷҳизот иҷро мешаванд ва ниёз ба истифодаи хатҳои гармии тӯлонӣ ва руйпӯшкунӣ иловагӣ нест. Ин ба самаранокии истифодаи энергияи гармии дохилӣ мусбат таъсир карда, самаранокии умумии таҷҳизотро зиёд намуда, ҳамзамон талаботро ба манбаҳои гармии иловагии берунӣ кам менамояд. Бо шарофати муттаҳидсозии функсияҳои гармкунӣ ва газификасия дар як таҷҳизот, миқдори маводи зарурии сохторӣ барои сохтани таҷҳизот кам шуда, ҳаҷмҳои маводҳои конструктивӣ коҳиш меёбанд. Миқдори меҳнати зарурӣ барои истеҳсол ва ҷамъкунии таҷҳизот, низ кам мешавад. Универсалӣ будани сохти таҷҳизоти реактор-генератор, талаботи ҷойгиршавии онро дар фазои истеҳсолот ба таври назаррас кам мекунад. Дар муқоиса бо нақшаи технологияи анъанавӣ, ки барои ҳар марҳилаи истеҳсол алоҳида таҷҳизот истифода мешавад, бартари назаррасро дидан мумкин аст. Дар заминаи модернизатсияи корхонаҳои мавҷуда барои истифодаи ангишт, ҷойгиршавии он омилест, ки аҳамияти зиёд дорад.

Хулосаҳо

1. Таҳқиқоти таркиб ва хосиятҳои ангишти кони Фон-Яғноб гузаронида шуд, термолизи ангишт барои ҷудо кардани моддаҳои тезбухоршаванда ва қатрондори таркиби он ва гирифтани карбони нармшуда иҷро гардид, инчунин газификасияи ангишт барои ҳосил кардани газҳои энергетикӣ ва технологӣ анҷом дода шуд [4-А, 5-А, 8-А, 11-А, 12-А, 13-А, 15-А].

2. Ҳангоми иҷрои термолизи ангишт дар ҳароратҳои 650—700 °С моддаҳои тезбухоршаванда ва қатронии таркиби ангишт дар чунин ҳароратҳо ҷудо карда шуданд: буғи об ва газҳои конденсатсиянашаванда дар 90—100 °С; бензол ва гомологҳои он дар 110—170 °С; фенолҳо ва пиридинҳо дар 170-200 °С; фраксияи нафтаген дар 210-230 °С; метилнафтагенҳо дар 230-270 °С; антраценҳо дар 270-360 °С; қатрон дар 360-500 °С. Тарзи конденсатсиякунонии моддаҳои тезбухоршаванда ва қатронии таркиби ангишт мувофиқи градиенти пастшавии ҳарорат пешниҳод гардид, ки имкон медиҳад ҳар як модда дар шакли моеъ ба даст оварда шавад [3-А, 7-А, 6-А, 15-А, 18-А, 19-А, 20-А].

3. Таҳқиқоти термогравиметрии ангишт нишон дод, ки дар муҳити оксидкунанда ҷудошавии моддаҳои тезбухоршаванда дар ҳароратҳои паст оғоз меёбад, нисбат ба муҳити инертии аргон. Қуллай камшавии массаи намунаи ангишт дар интервали ҳароратҳои 420-440 °С рост меояд. Шиддати ҷудошавии моддаҳои тезбухоршаванда бо зиёд шудани суръати гармкунӣ ангишт меафзояд. Дар муҳити инертии аргон ҷудошавии моддаҳои тезбухоршаванда дар тамоми раванди гармкунӣ намуна идома меёбад, аммо дар муҳити оксидкунанда сӯхтани ангишт дар ҳарорати 600 °С анҷом меёбад [3-А, 5-А, 7-А, 8-А, 19-А, 20-А].

4. Муайян карда шуд, ки дар ҳароратҳои 650—700 °С карбон якҷоя бо моддаҳои минералии таркиби ангишт нарм мешавад. Карбони нармшуда ҳамчун ашёи хоми самаранок барои истифода ҳамчун реагенти барқарорсозии металлҳо ё барои газификасия бо оксиген ва буғи об бо мақсади истеҳсоли газҳои энергетикӣ ва технологӣ хизмат карда метавонад [4-А, 5-А, 8-А, 10-А, 11-А, 18-А, 19-А, 20-А].

5. Кинетикаи оксидшавии карбон бо оксиген таққӣ карда шуд. Муайян гардид, ки раванди таъсири карбон бо оксиген ҳамчун реаксияи гетерогенӣ мегузарад, ки дар марҳилаи аввал оксиди сатҳии C_2O_4 ҳосил мешавад ва баъдан он ба CO ва CO_2 таҷзия мегардад. Энергияи фаъолнокии ташаккул ва таҷзияи оксиди сатҳӣ мутаносибан $E_1 = 180$ кҶ/мол ва $E_2 = 197$ кҶ/мол-ро ташкил медиҳад [1-А, 2-А, 5-А, 4-А, 7-А, 13-А, 14-А].

6. Технологияи комплекси газификасияи ангишт таҳия карда шуд, ки моҳияти он дар он аст, ки пеш аз газификасия ангишт тавассути термолиз то 700 °С гарм карда шуда, моддаҳои тезбухоршаванда ва қатронии таркиби он ҷудо карда мешаванд. Онҳо пас аз конденсатсия шудан вобаста ба таркиби химиявии худ метавонанд истифода шаванд. Карбони боқимонда ҳамчун барқароркунандаи металлҳо ё барои газификасия бо оксиген

ва буғи об барои ҳосил кардани гази генератории (H_2 ва CO) истифода мешаванд. Ин газҳо метавонанд ҳамчун барқароркунандаи металлҳо истифода шаванд ё ба раванди конверсияи CO бо буғи об дохил гардида, баъдан CO_2 абсорбсия карда шуда, гидрогени тоза ҳосил карда шавад [1-А, 2-А, 6-А, 7-А, 11-А, 12-А, 13-А, 18-А, 20-А].

7. Гидрогене, ки тавассути газификатсияи ангишти кони Фон-Яғноб ҳосил шуд, барои барқарорсозии металлҳо аз концентрати сурбу руҳи Кони Мансур истифода гардид. Муайян карда шуд, ки ҳангоми газификатсияи 1000 кг ангишт бо истифодаи технологияи дар ин таҳқиқотҳо пешниҳодшуда 270 кг H_2 ба даст меояд, ки метавонад 27,972 кг сурб (Pb)-ро аз 32,3 т минерали галенит (PbS) барқарор созад [1-А, 4-А, 6-А, 9-А, 14-А, 17-А].

8. Сохти газогенератори дузинагии ангишт таҳия карда шудааст, ки дар он реактори термолиз барои истехсоли карбон ва газификатсияи он дар як дастгоҳ муттаҳид шудаанд. Ҳалли яққояи ду раванд имкон медиҳад, ки дар як таҷҳизот пайдарпай коркарди гармии ангишт бо ҷудо кардани карбон, моддаҳои тезбухоршаванда ва қатронӣ, газификатсияи минбаъдаи карбон, ҳосилкунии гази генераторӣ ва хокистар анҷом дода шавад. Ҳамчунин, гармии гази генераторӣ ва хокистари ангишт барои истехсоли буғи об, ки дар газификатсияи карбон истифода мешавад, сарф мегардад. Газогенератори дузинагӣ содда буда, бо масрафи ками моддӣ ва энергетикӣ кор мекунад, инчунин партовҳои ифлоскунандаи муҳити зистро намебарорад [5-А, 18-А, 19-А, 20-А].

Тавсияҳо оид ба истифодаи амалии натиҷаҳои таҳқиқот

Натиҷаҳои таҳқиқоти анҷомдода дорои аҳамияти баланди амалӣ буда, метавонанд бо ҳадафи баландбардоштани самаранокӣ ва бехатарии экологӣ ба равандҳои саноатии истифода ва коркарди ангишт ҷорӣ карда шаванд. Самтҳои асосии истифодаи амалӣ чунинанд:

1. Технологияи таҳияшуда имкон медиҳад, ки коркарди амиқи комплекси ангишт бо ба даст овардани доираи васеи маҳсулоти қимматнок амалӣ гардад, аз ҷумла:

- карбони тозашуда барои металлургия, соҳаҳои электротехникӣ ва соаноати химиявӣ мувофиқ аст;

- гази генераторӣ дорои потенциали энергетикӣ ва технологӣ мебошад;

- моддаҳои тезбухоршаванда ва қатронӣ, аз ҷумла антрасенҳо, метилнафталенҳо, кислотаи нафталенӣ, фенолҳо, пиридинҳо, бензол ва гомологҳои он, ки ҳамчун ашёи хом барои саноати химиявӣ ва нафтӣ арзишманд мебошанд;

2. Истифодаи гази энергетикӣ. Гази генераторие, ки дар раванди газификатсия ба даст меояд, метавонад ҳамчун манбаи энергия дар соҳаҳои гуногуни саноат истифода шавад, аз ҷумла:

- маҷмааи сӯзишворӣ-энергетикӣ;

- металлургия;

- саноати химия, ки дар он энергия ё муҳити газӣ бо ҳосиятҳои муайян.

3. Истифодаи гази технологӣ. Вобаста ба таркиб, газҳои технологӣ метавонад барои синтези маҳсулоти муҳими химиявӣ равона карда шавад, аз ҷумла: аммиак (NH_3); карбамид ($CO(NH_2)_2$); метанол (CH_3OH); синтез-газ ва дигар пайвастагиҳои органикӣ, ки дар истехсоли саноати химия истифода мешавад.

4. Истифодаи гидроген (H_2), ки дар газификатсияи ангишт ҳосил мешавад:

- ҳамчун реагенти химиявӣ барои синтези пайвастагиҳои дорои гидроген;

- ҳамчун барқароркунанда дар металлургия барои истихроҷи металлҳо аз оксидҳо ва намакҳои он;

- ҳамчун манбаи баландсамарои энергия барои элементҳои сӯзишворӣ ва дастгоҳҳои гармидиҳӣ;

- барои истифода дар низомҳои энергетикӣ хурд, таҷҳизоти автономӣ ва деғҳои саноатӣ барои истехсоли буғ.

5. Ҷорӣ намудани реактор-газогенератори дузинагӣ дар технологияҳои истифодаи ангишт. Сохт ва тарҳи ин реактор чунин бартариятҳоро таъмин мекунад: коҳиши масрафи

энергия тавассути истифодаи оқилонаи гармӣ; баланд бардоштани самаранокии ҳарорати тамоми раванд; идоракунии дақиқи марҳилаҳои термохимиявӣ (термолиз ва газификация); афзоиши истеҳсоли маҳсулоти асосии бе партов.

Рӯйхати адабиётҳо

1. Аль-Бируни Абу Райхан. Книга о драгоценных камнях / пер. с араб. под ред. И. Ю. Крачковского. - Ташкент: ФАН, - 1963. - 488 с.
2. Агрикола, Г. *De re metallica*. (О горном деле и металлургии) / Georgius Agricola. — Базель: Froben, - 1556. -12 кн.
3. Лавуазье, А. Л. *Трактат о химии* / Antoine L.Lavoisier. Париж: Cuchet, - 1789.-211с.
4. Tropsch, H. Problems in the Chemistry of Coal // Chemical Reviews. — 1929. — Vol. 6. - P. 63–90.
5. Fischer, F., Tropsch H. Process for the Production of Paraffin-Hydrocarbons. - US Patent 1 746 464. - 1930.
6. Fischer, F. The Conversion of Coal into Liquid Fuels // Chemical Age. -1936. -Vol. 35, № 24. - P. 353–355.
7. Менделеев, Д. И. Основы фабрично-заводской промышленности. СПб.: Тип. В. Демакова, - 1897. - 684 с.
8. Вернадский, В. И. Очерки геохимии. Л.: Госхимиздат, 1934. - 380. с.
9. Губкин, И. М. Учение о нефти и угле. М.: АН СССР, 1937. - 472 с.
10. Семёнов, Н. Н. Цепные реакции. М.; Л.: Госхимиздат, 1934. - 535 с.
11. Walker, P. L., Rusinko F., Austin L. G. Gas reactions of carbon // Advances in Catalysis. - 1959. - Vol. 11. - P. 133–221.
12. Smoot, L. D., Smith, P. J. Coal Combustion and Gasification. - New York: Plenum Press, 1985. - 552 p.
13. Жижченко, Б. П. Термическое разложение и газификация твёрдых топлив. - М.: Химия, - 1968. - 320 с.
14. Кузнецов, А. А. Химия и технология твёрдого топлива. М.: Недра, -1973. - 416 с.
15. Газификация угля и других твёрдых топлив / под ред. В. С. Веселова. - М.: Энергоатомиздат, - 1980. - 368 с.
16. Термолиз углей различного ранга / А. И. Камнева. - М.: Наука, - 1985. - 292 с.
17. Химия твёрдого топлива / Н. И. Шпильрайна. - М.: Химия, - 1986. - 400 с.
18. Бутузов В. А., Лебедев А. Н. Физико-химические основы газификации угля. — М.: Энергоатомиздат, - 1990. - 304 с.
19. Угли Средней Азии: состав, свойства, направления использования / под ред. Р. А. Ниязова. - Ташкент: Фан, 1978. - 286 с.
20. Геология угольных месторождений Таджикистана / под ред. М. Х. Ходжиева. - Душанбе: Дониш, - 1982. - 312 с.
21. Физико-химические свойства углей Фон-Ягнобского бассейна / А. С. Саидов [и др.] // Горючие ископаемые. - 1991. - № 4. - С. 45–52.
22. Влияние минеральной части угля на процессы газификации / А. В. Петров, Н. М. Орлов // Химия твёрдого топлива. - 2003. - № 2. - С. 18–26.
23. Мингбоев, Ш. А. Физико химические основы переработки углей Таджикской депрессии: дис. ... канд. хим. Наук. – Душанбе, 2020. – 95 с.
24. Муродиён, А. Научно-практические основы переработки и использования местного углеродсодержащего сырья в производстве алюминия: дис. ... док. тех. наук. – Душанбе, 2020. – 305 с.
25. Исобаев, М. Д., Пулатов, Э. Х., Давлатназарова, М. Д., Халиков, Б. Д., Турдалиев, М. З., Сохибов, Н. Б., Юнусов, М. Комплексный подход к использованию и переработке угля // тез. Междунар. конф., Душанбе, 2013. - С. 11-13.
26. Исобаев, М. Д., Пулатов, Э. Х., Абдуллаев, Т. Х., Давлатназарова, М. Д., Мингбоев, Ш. А. Кинетика термического разложения высокомолекулярных соединений, входящих в состав

угля // Известия АН РТ., Отдел физико-математических, химических, геологических и технических наук. - 2013, № 3 (Т. 152). - С. 52–58.

27. Муродиён, А., Азизов, Б.С., Мирпочаев, Х.А., Н.Ю. Пулодов, Джамолзода, Б.С., Сафиев, Х.С. Использование углей республики Таджикистан в производстве синтез-газа (угольного газа). Вестник педагогического университета. Энергетика и рациональное природопользование. - 2021.- №4, - С. 150-154.

28. Ёров, З.Ё., Кабиров, Ш.О., Муродиён, А., Сироджев, Н.М. Минерально – сырьевая база химико – металлургической промышленности Таджикистана. Изд.: “Мега Басым”, - Стамбул, Турция. – 413 с.

29. Higman C., Van der Burgt, M. Gasification mechanisms and reactors // Fuel Processing Technology. - 2003. - Vol. 83. - P. 1–12.

30. Li X., Grace J. R., Lim C. J. Coal gasification in fluidized beds // Fuel. - 2004. Vol. 83. - P. 191–199.

31. Шодиев, Г.Г. Технологические основы газификации углей месторождения Фон Ягноб для совместного производства тепла и химических материалов. Дисс. на соис. звание канд. тех. наук. - Душанбе. - 2010. – 123 с.

32. Муродиён, А.Ш., Шарифов, А., Мирсаидов, У.М. Оценка эффективности разных способов производства водорода в текущих условиях промышленности и энергетики Таджикистана. Доклады НАНТ. - 2025, - Т. 68, - №7. – С. 690-701.

33. Кузичкина, Ю.М. Петрография характеристика углей месторождения Фон Ягноб по материалам Таджикской ССР. / Ю.М. Кузичкина. Сталинабад: Госгеолфонд. 1940, 28 с.

34. Повзнер, З.И. Лабораторное обогащение угля пластов Фон Ягнобского угольного месторождения / З.И. Повзнер. Сталинабад: Госгеолфонд. – 1942. – 15 с.

35. Сафиев, И.С. Коксование Фон Ягнобских угольных пластов / И.С. Сафиев. Сталинабад: Госгеолфонд. -1948. -13 с.

36. Худойкулов, К.Х. Геология и метаморфизм зеленосланцевых образцов Магиян Ягнобской полосы Центрального Таджикистана. Душанбе / К.Х. Худойкулов. Сталинабад: Госгеолфонд. – 1987. - 321 с.

37. Переясловский, И.В. Детальная разведка участка карьерного Восточного фланга каменноугольных мест Фон Ягнобского местоождения за 1987-1990гг / И.В. Переясловский. Душанбе: Госгеолфонд. – 1990. – 632 с.

38. Еров, Ш.Н. Омӯзиши таркиби паратовҳои сӯзиши қитъаи қони Фон Ягноб / Ш.Н. Ёров. – Душанбе: Госгеолфонд. – 2018. – 161 с.

39. Раджабов, К.О. Каменный уголь по участку Реват центральной площади месторождения Фон Ягноб/ К.О. Раджабов. – Душанбе: Госгеолфонд – 2020. - 37 с.

40. Огнев, Н.С. Фон ягнобское каменно угольное месторождение / Н.С. Огнев. Душанбе: Госгеолфонд. – 1959. – 81 с.

41. Абакин, Ю.А. Переоценка запасов угля по Фон Ягнобскому месторождению / Ю.А. Абакин. – Душанбе: Госгеолфонд – 1987. – 101 с.

42. Охунов, Р.В., Ёров, З.Ё., Негматов, И.И. Атлас справочник угольного месторождения Фон Ягноб. Душанбе. – 2017. -170 с.

Рӯйхати наприётҳо оид ба мавзӯи диссертатсия

Мақолаҳои дар маҷаллаҳои илмӣ ҷопшуда, ки Комиссияи олии аттестатсионии назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон тавсия кардааст

1-М. Бахриддинзода, Ш.Б. Закономерности гетерогенных процессов восстановления свинца из галенитсодержащего концентрата газами / З.Х. Гайбуллаева, Б.И. Асроров, **Ш.Б. Бахриддинзода, Г.Т. Насымов, А. Шарифов** // Доклады АН РТ. - 2020. - Т.63. - № 9-10. - С. 631-637. ISSN 0002-3469.

2-М. Бахриддинзода, Ш.Б. Гетерогенные процессы восстановления свинца из галенитсодержащего концентрата газами / З.Х. Гайбуллаева, Г.Т. Насымов, Б.И. Асроров,

Ш.Б. Бахриддинзода, А. Шарифов // Доклады АН РТ. - 2020. - Т.63. - №5-6. - С. 368-373. ISSN 0002-3469.

3-М. Бахриддинзода, Ш.Б. Получение восстановительных веществ способом переработки углей месторождения Фон-Ягноб / **Ш.Б. Бахриддинзода**, Б.И. Асроров, З.Х. Гайбуллаева, А. Шарифов // Политехнический вестник. Серия инженерные исследования. - 2021. - №3 (55). - С.92-96. ISSN 2520-2227.

4-М. Бахриддинзода, Ш.Б. Безотходная технология газификации угля для получения тепла и химических веществ / З.Х. Гайбуллаева, **Ш.Б. Бахриддинзода**, Б.И. Асроров, А. Шарифов // Горный журнал. - 2022. - №9. - С.62-68. ISSN 0017 - 2278. DOI: 10.17580/gzh.2022.09.11.

5-М. Бахриддинзода, Ш.Б. Газообразование при взаимодействии угля с кислородом // З.Х. Гайбуллаева, Т.Х. Гадоев, Б.И. Асроров, **Ш.Б. Бахриддинзода** // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. - Душанбе 2023. - № 2 (62). – С. 105-112. ISSN 2520-2227.

6-М. Бахриддинзода, Ш.Б. Ресурсосберегающая технология переработки угля месторождения Фон Ягноб / З.Х. Гайбуллаева, Т.Х. Гадоев, Б.И. Асроров, **Ш.Б. Бахриддинзода**, А.Шарифов // Доклады НАНТ. - 2023, - Т. 66. - № 3-4. - С. 230-236. ISSN 2791-1489.

7-М. Бахриддинзода, Ш.Б. Термическая обработка угля Фон-Ягнобского месторождения для выделения летучих веществ его состава / З.Х. Гайбуллаева, Т.Х. Гадоев, Ф.М. Рахимов, Б.И. Асроров, **Ш.Б. Бахриддинзода** // Доклады НАНТ, - 2025. - №6. - Т.68. - С. 598-607. ISSN 2791-1489.

8-М. Бахриддинзода, Ш.Б. Исследование процесса термического разложения угля при его газификации / Т.Х. Гадоев, **Ш.Б. Бахриддинзода**, Ф.Х. Рахимов, Б.И. Асроров, З.Х. Гайбуллаева // Известия НАНТ. - 2025. - №2 (199). - С.145-152. ISSN 2791-2337.

Интишорот дар маводҳои конференсияҳои илмӣ

9-М. Бахриддинзода, Ш.Б. Активность палладиевого катализатора в реакции получения гидрида алюминия / З.Х. Гайбуллаева, Б.И. Асроров, **Ш.Б. Бахриддинзода**, Г.Т. Насимов // Материалы республиканской научно-практической конференции с участием международных организаций «Инновационное развитие науки» 10 декабря 2020 г, г. Душанбе. - С.33-35.

10-М. Бахриддинзода, Ш.Б. Изучение восстановления окиси металлов состава полиметаллических концентратов окисью углерода / З.Х. Гайбуллаева, Г.Т. Насымов, Б.И. Асроров, **Ш.Б. Бахриддинзода**, А Шарифов // Материалы республиканской научно-практической конференции с международным участием «Тепловая энергетика и теплофизические свойства веществ» 27-28 августа 2021, - г. Душанбе. - С. 210-217.

11-М. Бахриддинзода, Ш.Б. Исследование процесса окисления металлов окисью углерода, полученного газификацией углей Фон Ягноб / З.Х. Гайбуллаева, Г.Т. Насымов, Б.И. Асроров, **Ш.Б. Бахриддинзода** // Материалы V международной научно-практической конференции «Вопросы физико-химической и координационной химии». –2021,- г. Душанбе. - С. 168-174.

12-М. Бахриддинзода, Ш.Б. Экологические аспекты проблем возникающих при использовании природных энергоносителей / З.Х. Гайбуллаева, Б.И. Асроров, **Ш.Б. Бахриддинзода** // Материалы III международной научно-практической конференции «Роль женщин-учёных в развитии науки, инноваций и технологий». 24-26 август 2022, - г. Гулистан, Таджикистан. - С. 246-252.

13-М. Бахриддинзода, Ш.Б. Переработка сульфидных свинец содержащих концентратов восстановительными газами / **Ш.Б. Бахриддинзода** // Материалы XIII международной теплофизической школы «Теплофизика и информационные технологии». 17-20 октября 2022, -г. Душанбе. – С. 192-195.

14-М. Бахриддинзода, Ш.Б. Получение металлов из свинцово цинковых руд месторождения Кони Мансур (Таджикистан)/ З.Х. Гайбуллаева, Б.И. Асроров, **Ш.Б. Бахриддинзода**, А. Шарифов/ Материалы XV международной конференции «Металлургия цветных редких и благородных металлов» имени члена- корреспондента РАН Г.Л. Пашкова, 6-8 сентября 2022, –г. Красноярск, Россия. – С. 172- 175.

15-М. Ш.Б. Бахридинзода. Технологические факторы использования угля / **Ш.Б. Бахридинзода, Т.Х. Гадоев, Г.Г. Шодиев, З.Х. Гайбуллаева** //Материалы международной научно-практической конференции с международным участием «Теплоэнергетика и теплофизические свойства» посвящённой объявлению 2020-2040 годов «Двадцатилетием изучения и развития естественных, точных и математических наук в сфере науки и образования». - 2023, - г. Душанбе. - С. 96-100.

16-М. Бахридинзода, Ш.Б. Водородная технология и экологическое равновесие / **Т.Х. Гадоев, Ф.М. Рахимов, Ш.Б. Бахридинзода, Б.И. Асроров., З.Х. Гайбуллаева**/ Материалы XX международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «ПРОСПЕКТ СВОБОДНЫЙ» конгресса и выставки «Цветные металлы и минералы». Секция металлургия цветных и редких металлов. 15-20 апреля 2024, - г. Красноярск, Сибирский Федеральный университет. - Россия. Сертификат № 32958-2024.

17-М. Бахридинзода, Ш.Б. Исследование кинетических закономерностей извлечения свинца из полиметаллических концентратов / **З.Х. Гайбуллаева, Б.И. Асроров, Ш.Б. Бахридинзода, А. Шарифов**/ Материалы XII международного конгресса и выставки «Цветные металлы и минералы». Секция металлургия цветных и редких металлов. 19-3 сентября 2024, - г. Красноярск, Россия. Сертификат.

Патентҳо ва ихтироот

18-М. Бахридинзода, Ш.Б. Малый Патент №1348 ТЈ, МПК: С10Ј 3/00. Способ получения восстановительных веществ при переработке угля / **З.Х. Гайбуллаева, А. Шарифов, Б.И. Асроров, Ш.Б. Бахридинзода, Г.Т. Насимов** // №2201619, заяв. 05.01.2022, опубл. 10.02.2023, бюл №192, 2023.

19-М. Бахридинзода, Ш.Б. Малый Патент № 1415 ТЈ, МПК С1 0Ј 3/00 Способ газификации угля / **З.Х. Гайбуллаева, Б.И. Асроров, А. Шарифов, Т.Х. Гадоев, Ш.Б. Бахридинзода, Н.Т. Яхяев** // № 2301837, заяв. 18.05.2023 г.; опубл. 4.08.2023, бюл. №197, 2023.

20-М. Бахридинзода, Ш.Б. Патент Евразии №047175. Способ получения восстановительных веществ при переработки угля / **З.Х. Гайбуллаева, А. Шарифов, Б.И. Асроров, Ш.Б. Бахридинзода, Г.Т. Насимов** // №047175; заявл. 14.02.2023, опубл. 17. 06. 2024 г., бюл. Евразийского патентного ведомства «Изобретения (евразийские заявки и патенты)» №6/2024.

АННОТАЦИЯ

на диссертацию Бахриддинзода Шохина Бахриддина на тему
«Термолиз и газификация угля Фон-Ягнобского месторождения»

Ключевые слова: уголь, термолиз, газификация, водород, диоксид углерода, технология, кинетика, оксиды металлов, газогенератор, генераторный газ, восстановительный газ, источник энергии, концентрат.

Целью проводимых исследований является разработка комплексных технологий переработки угля месторождения Фон-Ягноб с получением энергетических и технологических газов, а также всех сопутствующих продуктов и материалов.

Объекты и методы исследования, а также использованное оборудование включали следующее: уголь месторождения Фон-Ягноб (Таджикистан) и его вещественный состав; газовые смеси (H_2 , O_2 , N_2 , CO , CO_2 , H_2O , воздух и др.); неорганические компоненты, входящие в состав углей, свинцово-цинковый концентрат месторождения Кони Мансур (Таджикистан); различные химические реактивы, применяемые в ходе экспериментов. Методологическая часть исследования заключалась в определении основных характеристик процессов термолиза и газификации угля месторождения Фон-Ягноб. Для обеспечения достоверности и воспроизводимости полученных результатов использовались современные аналитические приборы и лабораторные оборудования.

Полученные результаты и научная новизна исследования заключается в комплексном изучении процессов термолиза и газификации угля Фон-Ягнобского месторождения, а также кинетики окисления углерода кислородом. Разработана технология комплексной переработки угля. Разработанный подход обеспечивает научно обоснованную и технологически эффективную схему комплексной переработки угля с вовлечением всех образующихся газообразных и твердых продуктов.

Теоретическая значимость исследования заключается в разработке и обосновании теоретических концепций, а также в полученных экспериментальных результатах термолиза и газификации угля. Указанные результаты взаимосвязаны и отражают процессы выделения летучих и смолистых веществ из угля при его нагревании, сопровождающегося формированием пластифицированного углерода. Полученные данные используются при расчетах и построении моделей термолиза и газификации углей различных модификаций.

Практическая значимость результатов работы состоит из внедрения результатов исследования в энергетических и промышленных предприятиях страны. Позволяет переработать уголь по комплексным безотходным технологиям и получить чистый углерод, энергетический и технологический газ, золу угля, компонентов состава летучих и смолистых веществ, что является высокоэффективным производством без выбросов в окружающую среду.

Рекомендации по практическому использованию результатов исследований. Результаты проведенного исследования представляют значительный практический интерес и могут быть внедрены в промышленные процессы углепользования и энергетики с целью повышения эффективности и экологической безопасности переработки угля. Разработанные способы и технологические решения могут быть внедрены на промышленных предприятиях, включая ОАО «АЗОТ» при производстве аммиака и карбамида, а также на Адрасманском горно-металлургическом комбинате для повышения эффективности переработки свинцово-цинковых концентратов и извлечения содержащихся в них металлов.

Область применения результатов исследования охватывает химико-металлургическую промышленность, энергетический сектор, производство строительных материалов, а также сферу экологии и охраны окружающей среды.

ANNOTATION

to the dissertation of Bahrriddinzoda Shohin Bakhriddin on the topic
“Thermolysis and Gasification of Coal from the Fon-Yaghnob Deposit”

Keywords: coal, thermolysis, gasification, hydrogen, carbon monoxide, technology, kinetics, metal oxides, gas generator, producer gas, reducing gas, energy source, concentrate.

The purpose of the research is to develop integrated technologies for the processing of coal from the Fon-Yaghnob deposit aimed at obtaining both energy-producing and technological gases, as well as all accompanying products and materials.

The objects and methods of the study, as well as the equipment used, included: coal from the Fon-Yaghnob deposit (Tajikistan) and its material composition; gas mixtures (H_2 , O_2 , N_2 , CO , CO_2 , H_2O , air, etc.); inorganic components present in coal; a lead–zinc concentrate from the Koni Mansur deposit (Tajikistan); and various chemical reagents employed during the experiments. The methodological part of the research consisted in determining the principal characteristics of the thermolysis and gasification processes of the Fon-Yaghnob coal. To ensure the reliability and reproducibility of the results, modern analytical instruments and laboratory equipment were utilized.

The obtained results and scientific novelty lie in the comprehensive study of the thermolysis and gasification processes of Fon-Yaghnob coal, as well as the kinetics of carbon oxidation by oxygen. A technology for deep coal processing has been developed. The proposed approach provides a scientifically substantiated and technologically efficient scheme for the integrated processing of coal involving all resulting gaseous and solid products.

The theoretical significance of the research is reflected in the development and justification of theoretical concepts, as well as in the experimental results obtained on the thermolysis and gasification of coal. These results are interrelated and describe the release of volatile and tar-like substances during coal heating, accompanied by the formation of plasticized carbon. The data obtained are used in calculations and in the development of models for the thermolysis and gasification of coals of various types.

The practical significance of the study lies in the potential implementation of its results at energy and industrial enterprises of the country. The developed technology enables the comprehensive, waste-free processing of coal to obtain pure carbon, energy and technological gases, coal ash, and the individual components of volatile and tar substances. This represents a highly efficient process with no harmful emissions into the environment.

Recommendations for the practical use of the results. The findings of the research are of considerable practical value and may be implemented in industrial coal-processing and energy-production systems to enhance the efficiency and environmental safety of coal utilization. The developed approaches and technological solutions can be applied at industrial facilities, including OJSC “Azot” in the production of ammonia and urea, as well as at the Adrasman Mining and Metallurgical Plant to improve the efficiency of processing lead–zinc concentrates and extracting the metals contained within them.

The field of application of the research results encompasses the chemical and metallurgical industries, the energy sector, the production of construction materials, and the areas of ecology and environmental protection.