

«УТВЕРЖДАЮ»

Ректор Таджикского технического университета  
имени академика М.С. Осими  
доктор экономических наук, профессор



Давлатзода К.К.

« 11 » 2025 г.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

### РАСШИРЕННОГО ЗАСЕДАНИЯ КАФЕДРЫ «ТЕХНОЛОГИИ ХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА» ТАДЖИКСКОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА ИМЕНИ АКАДЕМИКА М.С. ОСИМИ

Диссертация Бахриддинзода Шохин Бахриддин «Термолиз и газификация угля Фон Ягнобского месторождения» выполнена на кафедре «Технология химического производства» Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими.

Бахриддинзода Шохин Бахриддин 1996 года рождения, в 2017 году окончил Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими по специальности «Металлургия цветных металлов». В 2017 году продолжил учёбу в магистратуре Таджикского технического университета по специальности «Металлургия цветных металлов» и окончил её в 2019 году. В 2023 году согласно приказа №18-3/4 поступил в аспирантуру Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими по специальности 05.17.01 –Технология химического производства и закончил в 2025 году.

**Научный руководитель:** Гайбуллаева Зумрат Хабибовна - доктор технических наук, заведующая кафедрой «Технология производственных процессов» филиала Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими на ОАО «АЗОТ».

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

Диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне. Сделанные в работе выводы обоснованы различными методами исследований, а сама диссертационная работа является законченным, логически обоснованным научным исследованием в области технологии химического производства. В результате проведенных исследований Бахриддинзода Ш.Б. физико-химическими методами анализа изучены процессы термолиза и газификации угля Фон-Ягнобского месторождения.

**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.

***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  $C_2O_4$  с энергией активации образования и разложения соответственно  $E_1 = 180$  кДж/моль и  $E_2 = 197$  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  $CO:H_2 = 1:1$ ; 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 термолиза 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 термолиза 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, 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 ( $\text{NH}_3$ ) 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.

**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 термолиза 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 термолиза 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.

**Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем.** 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 проведённых исследований получены три патента на изобретение, в том числе два малых патента Республики Таджикистан и один Евразийский патент.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

*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 термолиза и газификации угля с применяемыми приборами и оборудованями.

*В третьей главе* приведены результаты изучения процессов термолиза угля с использованием трубчатой печи, термогравиметрического анализа угля в инертной (Ar) и окислительной среде (смеси  $O_2/N_2$ ) и результаты изучения кинетики окисления углерода, полученного в процессе термолиза угля кислородом, а также материально-теплового 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 совмещённого 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.

*Научные статьи, опубликованные в рецензируемых журналах  
рекомендованных ВАК при Президенте Республики Таджикистан*

**1. 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. 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. 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. 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. 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. 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. 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. 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. 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. 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. 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. 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. Бахриддинзода, Ш.Б.** Переработка сульфидных свинецсодержащих 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. 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. Ш.Б. Бахриддинзода.** 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». - 2023, - г. Душанбе. - С. 96-100.

**16. 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. 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. 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. 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. Яхьяев // № 2301837, заяв. 18.05.2023; опубл. 4.08.2023, бюл. №197.

**20. 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, бюл. Евразийского патентного ведомства «Изобретения (Евразийские заявки и патенты)», №6/2024.

### **ПОСТАНОВИЛИ**

- 1 Диссертацию Бахриддинзода Шохина Бахриддина на тему «Термолиз и газификация угля Фон-Ягнобского месторождения» представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5 Химическая технология (материалы и металлургия) (2.5.1 Технология неорганических веществ) считать законченной научной работой.
- 2 Диссертацию Бахриддинзода Шохина Бахриддина на тему «Термолиз и газификация угля Фон-Ягнобского месторождения» представленную на

соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5. Химическая технология (материалы и металлургия) (2.5.1. Технология неорганических веществ) с учетом исправлений и замечаний рекомендовать к защите в соответствующий диссертационный совет.

**Заключение** принято на расширенном заседании кафедры «Технология химического производства» Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими. Протокол №4 от «11» ноября 2025 года.

Присутствовали 21 человек. Результаты голосования:

«за» - 21, «против» - нет, «воздержался» - нет.

Председатель, заведующий кафедрой

«Технология химического производства»

д.т.н., профессор

Обидов З.Р.

Секретарь заседания,

К.т.н.. доцент

Шодиев Г.Г.

Адрес: 734042, Республика Таджикистан, г. Душанбе, пр. академиков Раджабовых 10, Таджикский технический университет имени академика М.С.Осими, факультет «Химической технологии и металлургии».

E-mail: [info@ttu.tj](mailto:info@ttu.tj) Тел.: +992(372)213511, Факс: +992(372)230246

Подпись зав. каф. «Технологии химического производства» д.х.н., профессора Обидова З.Р. и доцента Шодиева Г.Г. заверяю:

/Начальник ОК и СР

ТТУ им. акад. М.С.Осими



Кодирзода Н.Х.