

**НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ**

**ЮЖНОЕ ОТДЕЛЕНИЕ**

**ИНСТИТУТ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ  
ИМЕНИ А.С. ДЖАМАНБАЕВА**

*На правах рукописи  
УДК.662.84:992.82*

**САБИРОВ БАТЫРБЕК ЗУЛУМОВИЧ**

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИТНОГО  
ТВЕРДОГО ТОПЛИВА НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ УГЛЕДОБЫЧИ С  
АКТИВИРОВАННЫМИ СВЯЗУЮЩИМИ**

05.17.06 - технология и переработка полимеров и композитов

**Диссертация**

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:  
д.ф.м.н., профессор Ташполотов Ы.

**Ош -2024**

## СОДЕРЖАНИЕ

	<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	5
<b>ГЛАВА 1.</b>	<b>СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ: ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИТНОГО ТОПЛИВА НА ОСНОВЕ УГЛЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ СВЯЗУЮЩИХ</b> .....	13
1.1.	Характеристика углей Алайского угленосного района и Южно-Ферганского бурогоугольного бассейна.....	14
1.2.	Научно-технологические основы получения КТТ с использованием угольных мелочей .....	21
1.3.	Литературный анализ технологии брикетирования углей в мире и в Кыргызской Республике.....	24
1.3.1.	Методы активации связующих и их влияния на структуру и реакционную способность композитного топлива.....	29
1.3.2.	Технологические параметры брикетирования: влияние влажности, температуры шихты, длительности прессования гранулометрического состава.....	32
1.4.	Цели и задачи исследований .....	41
<b>ГЛАВА 2.</b>	<b>МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. ХАРАКТЕРИСТИКИ ИСХОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ</b> .....	43
2.1.	Методы исследований.....	43
2.2.	Основные характеристики исходных материалов.....	44
2.2.1.	Бурые угли месторождений Кызыл-Булак, Кожо-Келен и Жатан.....	44
2.3.	Получения продуктов из отходов угля методом пиролиза.....	47
2.3.1.	Определение оптимальных параметров выхода продуктов в процессе пиролиза.....	51
2.4.	Получение битума методом терморастворения угля с нефтяным остатком.....	56
2.4.1.	Испытание полученного битума как связующего материала.....	63
2.5.	Глины. Характеристика неорганического связующего вещества.....	64
2.5.1.	Модифицирование неорганических связующих	

	веществ.....	67
2.5.2.	Испытание механохимически активированной глины как связующее вещество.....	69
2.6.	Методика приготовления смесей и описание лабораторной установки для их брикетирования.....	72
2.7.	Методы определения механической прочности брикетов.....	74
2.8.	Метод определения водопоглощения бурогоугольных брикетов.....	77
2.9.	Выводы по главе.....	79
<b>ГЛАВА 3.</b>	<b>РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННОГО ТВЕРДОГО ТОПЛИВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БИТУМА, ГЛИНЫ И ГУМАТА.....</b>	<b>82</b>
3.1	Исследование терморастворенного битума в качестве связующей добавки.....	82
3.1.1.	Исследование получения КТТ из углей Кызыл-Булак, Кожо-Келен с битумом в нагретом состоянии.....	87
3.1.2.	Влияние связующего на качество и свойства КТТ.....	90
3.1.3.	Технологическая схема брикетирования бурых углей с битумоподобным веществом.....	99
3.2	Исследование механохимически активированной глины в качестве связующей добавки для получения композиционного твердого топлива.....	101
3.2.1.	Влияние состава и количества лессового суглинка на свойства твердого композитного топлива.....	106
3.2.2.	Влияние состава и количества двухкомпонентной связующей на свойства твердого композитного топлива.....	110
3.2.3.	Исследование получения термо и водостойкого брикета на основе битума (полученного терморастворением угля) и бентонитовой глины.....	112
3.3	Исследование гуминовых веществ в качестве связующей добавки.....	115
3.3.1.	Влияние гуминовых веществ на свойство композитного топлива.....	115
3.4.	Выводы по главе .....	120

<b>ГЛАВА</b>	<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ГОРЕНИЯ КТТ И УПРАВЛЕНИЯ ИХ</b>	
<b>4.</b>	<b>ГОРЕНИЯ.....</b>	<b>122</b>
4.1	Испытание горение КТТ в бытовых и полупромышленных условиях.....	122
4.1.1.	Определение параметров эффективного сжигания КТТ.....	125
4.1.2.	Совершенствование бытовых топочных устройств с целью повышения эффективности горения КТТ.....	129
4.2.	Получение КТТ с применением твердого остатка образующегося в процессе пиролиза полимерных отходов (ПО).....	131
4.3.	Управление горениями КТТ.....	133
4.4.	Технология получения дешевого топлива из бурого угольных брикетов в усовершенствованных печах .....	140
4.5.	Технологическая схема брикетирования низкосортных углей и отходов угледобычи с активированными связующими.....	142
4.6.	Выводы по 4-ой главе .....	149
	<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ .....</b>	<b>150</b>
	<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....</b>	<b>152</b>
	<b>ПРИЛОЖЕНИЕ.....</b>	<b>174</b>

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность работы.** Эффективное и безопасное использование топливных ресурсов играет определяющую роль в области энергосбережения большинства государств. В условиях роста цен на нефтепродукты применение угольных топлив в качестве основного энергоносителя конкурентоспособно по отношению к жидким углеводородным топливам и природному газу, сжигаемым в больших объемах в тепловых установках.

Опыт многих стран показывает, что потребность в топливе может быть покрыта за счет вовлечения в топливно-энергетический баланс низкосортного сырья (бурого угля, биомассы и др.). Однако, низкие теплотехнические и прочностные характеристики такого сырья приводят к высоким эксплуатационным затратам при сжигании традиционными способами. В результате этого энергетическое использование низкосортного сырья встречается крайне редко.

В связи с вышеизложенным исследование проблемы вовлечения в топливно-энергетический баланс и повышение экономической эффективности использования низкосортного сырья в виде композитного твердого топлива является *актуальной задачей* теплоэнергетики.

В настоящее время на территории Кыргызской Республики известны около 70 месторождений и углепроявлений, которые группируются в четыре бассейна (Южно-Ферганский, Узгенский, Северно-Ферганский, Кавакский) и три угленосных района (Алайский, Алабука-Чатыркульский и Южно-Иссыккульский). В ходе добычи углей они частично превращаются (более 50%) в нетоварный вид угля – мелочи и отходы. Более качественные и кусковые угли реализуются в рынках, в промышленности, а отходы остаются вместе с отвалами на местах и накапливаются, что необходимо решить рационального их использования.

Одним из основных направлений рационального использования угольных отходов является получение композитного твердого топлива (КТТ) (брикеты).

Проблемой рационального использования некондиционной части и

утилизации отходов в угледобыче и в энергетике занимались различные ученые. Основоположниками теории и практики брикетирования углей являются Г. Франк и Кегель (Германия)[11,12]. В настоящее время в Германии одним из исследователей процессов агломерации и их промышленного применения является профессор Б. Питч Вольфганг[13-15].

В Соединенных штатах Америки данной проблемой занимались специализированный «Институт брикетирования и агломерации»[16], в Австралии и Европе разрабатывались и внедрялись технологии получения твердого топлива с использованием биомассы[17,18].

Одним из основоположников школы брикетирования в СССР являлся Елишевич А. Т.[19,20]. Изучению проблемы брикетирования углей посвящены работы Крохина В. Н.[21,22], Хотунцева Л. Л.[23], Акопова М. Г.[24], Пахалока И. Ф. [25], Лурия В. Г., Лурье Л. А.[26], Наумовича В. М., Шпирта М. Я., Рубана В. А.[27] и др.

В Кыргызской Республике исследованиями в области рационального использования угольных мелочей занимались Джаманбаев А. С., Баймендиева А. Ш.[89-90], Текенов Ж. Т.[91-92], Курманкулова Ш. Ж.[93-95], Исманжанов А. И.[96,97], Ташполотов Ы. [98-102], и др.

В работах Баймендиева А.Ш., Джаманбаева А.С., Текенова Ж.Т.[89-91], Курманкулова Ш.Ж.[93-95], Жолдошевой Т.[96], Адылова Ч.А.[97] были исследованы процессы брикетирования кыргызских углей, а также отходов угледобычи с различными органическими и неорганическими связующими материалами, биомассой, а также процессы термического брикетирования некоторых углей месторождений Согуты, Кызыл-Кия, Сулюкта. В работах Текенова Ж.Т. [91-92] исследовались взаимодействие и влияние неорганических связующих на процессы брикетирования с углем. Курманкулов Ш. [93-95] изучал получение разных композиционных брикетов, с добавлением бытовых отходов, биомассы с углем. В работах Ташполотова Ы. [98-102] рассматривались вопросы коксования углей на основе синергетики и теории вероятностей.

Однако ситуация с брикетной продукцией на рынке угля далеко не простая. Брикет как товарный продукт оказывается в одной рыночной нише с конкурентным сортовым углем при значительно большей себестоимости из-за дороговизны оборудования. Об этом свидетельствует опыт производства и распространения брикетов корейской фирмой «Йонтань» (Корея) в г. Бишкек, которая не нашла пока популярности и распространения среди населения сельской местности. Сегодня потребителю нужен топливо, дешевая по цене и не уступающая в качестве с кусковым углем.

В научно-технической литературе недостаточно сведений о природе эффекта увеличения прироста прочности и улучшения качества брикета, теоретических предпосылок и достоверных результатов влияния различных факторов на качество брикета, например, модифицирование или активация используемых в качестве связующего материала глины, различных гуматов, а также использовании в качестве связующих продуктов терморастворения угля и т.д.

В связи с этим, разработка технологии получения композитного твердого топлива на основе отходов угледобычи на основе доступных связующих материалов – глины, продукты терморастворения углей, нефтяные отходы, гуматы окисленных углей являются актуальными для топливно-энергетической отрасли Кыргызстана.

**Связь темы диссертации с крупными научными программами (проектами) и основными научно-исследовательскими работами.** Диссертационная работа выполнена в соответствии с планами научно-исследовательских работ Института природных ресурсов им. А.С.Джаманбаева Южного отделения Национальной академии наук Кыргызской Республики по темам: «Разработка технологии получения композиционного топлива на основе природных ресурсов» и «Разработка и внедрения высокоэффективных ресурсосберегающих технологий и технических средств по использованию природно-сырьевых ресурсов Южного региона Кыргызской Республики».

**Объекты исследования:** угли бурые и каменные, отходы угледобычи бурых и каменных углей, угольные брикеты, окускованные композиционные топлива из отходов угледобычи с органическими и неорганическими связующими веществами.

### **Цель работы.**

Разработка технологии получения композиционного твердого топлива на основе отходов угледобычи КР с использованием активированных связующих (лессовой и бентонитовой глины, гуматов из окисленных углей, вещества при терморастворении углей) и экспериментальное определение условий и характеристики сжигания топлива для управления процессами их горения.

### **Основные задачи работы.**

Для достижения цели исследований рассмотрены следующие задачи:

- выбор объекта исследования - отходов угледобычи угольных месторождений юга Кыргызстана и их связующих;
- исследования свойств углей юга Кыргызстана и процессы терморастворения углей для получения связующих веществ;
- использование гуминовых веществ для получения КТТ в качестве связующего угольных отходов;
- механическая и химическая активация глины и его суспензии в качестве связующего для получения КТТ из углеотходов КР;
- влияние физико-технических параметров (влажность, температура шихты, дисперсный состав и время и давления сжатия смеси) на технологические процессы получения КТТ;
- экспериментальное определение технологических условий и режимы сжигания КТТ с целью управления процессами горения;
- определение технико-экономических показателей технологии получения КТТ из отходов угледобычи с активированными связующими.

### **Научная новизна работы.**

- разработана технология термического растворения углей КР при атмосферном давлении с использованием растворителей и исследованы его

влияние на характеристики КТТ.

- впервые установлено возможность применения гуминовых веществ в качестве связующего для получения КТТ из отходов угледобычи КР;

- разработана технология получения КТТ из бурых углей с использованием комбинированных связующих из глины и гуматов (натрия и силиката натрия);

- впервые апробирована и разработана технология получения КТТ с улучшенными физико-механическими характеристиками за счёт механической и химической активации бентонитовой и лессовой глины и их суспензии;

-показана возможность управления процессами горения КТТ за счет изменения концентрации связующих и объема подачи воздуха в устройствах для сжигания;

-определено ТЭО получения КТТ из углеотходов КР с использованием отечественных связующих.

#### **На защиту выносятся следующие положения:**

-технология термического растворения углей КРи его влияние на параметры композиционного твердого топлива (КТТ);

-возможность использования гуминовых веществ в качестве связующего для получения КТТ из отходов угледобычи КР;

-технология получения КТТ из бурых углей с использованием комбинированных связующих из глины и гуматов (натрия и силиката натрия);

-физико-технические характеристики КТТ, полученной на основе активированной бентонитовой и лессовой глиной и их суспензии.

-управления процессами эффективного сжигания КТТ в режимах медленного и форсированного горения.

#### **Достоверность основных положений и выводов.**

Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, полученных в диссертации, обеспечивается корректностью постановки задачи, их решения с применением современных методов исследований и использованием методов математической статистики, достаточным объемом экспериментальных исследований, а также сходимостью

расчетных параметров и полученных экспериментальных данных.

### **Практическая значимость и реализация работы.**

Результаты проведенных исследований используются для разработки ТЭО, создания и размещения производств, технологий и разработки новых топочных устройств.

Разработана технологии выпуска угольных брикетов с улучшенными физико-механическими характеристиками за счёт использования активированной глины.

### **Экономическая значимость полученных результатов.**

Использование отходов и некондиционной части угледобычи, активированными минеральными связующими в получении композиционного твердого топлива (КТТ), покрывают дефицит кускового угольного топлива, снижает основные расходы на импортные связующие вещества.

Получение КТТ на основе активированных минеральных связующих – наиболее экономичный путь утилизации отходов угледобычи. Стоимость 1 тонны КТТ составляет 4193 сом, что дешевле на 30% естественного кускового угля.

### **Личный вклад автора**

Основные результаты диссертационной работы: анализ литературных и патентных исследований; организации и участия в технологических исследованиях угольных проб и образцов битума, полученного терморастворением угля, глины, гуматов; определении состава угольного брикета; разработке технологической схемы и установлении рациональных параметров брикетирования угля; анализе и обработке полученных результатов проведены автором лично. Использованные в диссертации экспериментальные результаты, опубликованные в соавторстве, получены при непосредственном участии автора, а в обсуждении результатов и оформлении статей участвовали Ж.Т. Текенов, Ы. Ташполотов, А.В. Цой, Ш. Джапарова, Ж.А. Арзиев, А.А. Асанов и др.

## **Апробация работы.**

Основное содержание работы и ее отдельные положения докладывались, обсуждались и получили положительную оценку на:

-международной научно-практической конференции “Наука и инновационные технологии-основа развития Кыргызской Республики” посвященная году развития регионов и цифровизации страны и 70-летию со дня рождения д.т.н., профессора Арзиева Ж. Конференция организована ОшГУ совместно с ИПР 11-октября 2019года.

-международной научно-практической конференции «Химия и металлургия комплексной переработки минерального сырья», посвященной 90-летию выдающегося ученого, Академика АН КазССР, лауреата государственной премии СССР Букетова Евнея Арстановича. Химико-металлургическом институте им.Ж.Абишева. 25-26 июня 2015 г., г.Караганда Республика Казахстан.

- международной научно-практической конференции, посвященной 75-летию академика НАН КР, председателя Ассамблеи Народов Кыргызстана, лауреата Госпремии КР, Заслуженного работника образования КР, государственного и общественного деятеля Б. Мурзубраимова на тему: “Роль науки и образования в современных условиях глобализации”, Ош, 2015г.

-XIV Международной научно-практической конференции «Современное состояние естественных и технических наук» Москва, 2014г.

-круглом столе «Роль рынка угля в проведении отопительного сезона» организованного с ОФ «Юнисон» и Наблюдательным советом при Министерстве энергетики КР (НС ИПТЭК) 28 августа 2013 года в городе Ош.

-в работе третьей региональной выставки - конкурса «Энергосбережение и технологии вторичного использования ресурсов - 2012» (г. Чкаловск, Таджикистан), выступил с докладом «Технология получения и сжигания формованных угольных брикетов (ФУБ) на круглом столе «Вторичное использование ресурсов» и награжден дипломом. 31.05 - 2.06. 2012 г.

-международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы науки, техники и технологии», организованный Ошским технологическим университетом 8-9 июня 2012 г.

-международной научно-практической конференции «Адышевские чтения. Современные проблемы изменения климата и разрушения озонового слоя», посвященной 20-летию принятия Монреальского протокола по веществам, разрушающим озоновый слой. ОшТУ 18-19 май 2007г.

### **Публикации.**

Содержание диссертационной работы отражено в 13 публикациях, получен 1 патент на изобретения. Из них 10 в журналах, входящих в перечень НАК КР. 2 научных статьи опубликованы в журналах РИНЦ с 0,1 и больше импакт-фактором. Общее количество накопленных баллов по шкале, утвержденной НАК при Президенте КР составляет - 130 баллов.

### **Структура диссертационной работы**

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, списка использованных литературных источников и приложений. Работа изложена на 180 страницах компьютерного текста, включая 37 рисунков, 54 таблицы, список использованных литературных источников из 176 наименований и приложений.

## ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ: ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИТНОГО ТВЕРДОГО ТОПЛИВА НА ОСНОВЕ УГЛЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ СВЯЗУЮЩИХ

Уголь – это полезное ископаемое, образовавшееся из останков древних растений и животных под землей без доступа кислорода [1]. В зависимости от расположения угольного пласта относительно земной поверхности уголь разрабатывают открытым (карьерами) и подземным (шахтами и штольнями) способами.

В Кыргызстане наиболее распространен открытый способ добычи угля. Динамика добычи угля в республике растет (таблица 1.1.), [2] это связано с тем, что идет модернизация и ориентация Бишкекской ТЭЦ на местные угли, муниципальные котельные переводятся с электричества на уголь, в производстве строительных материалов (кирпич, цемент) активно используют энергию угля. Активно осваиваются действующие (Кавакский бурогольный бассейн, Южно-ферганский бурогольный бассейн, Узгенский каменноугольный бассейн, Алайский угольный район и т.д.) месторождения, внедряются новые наиболее современные технологии добычи угля.

Таблица 1.1-Динамики добычи угля в Кыргызской Республике (2006-2022гг)

Наименование показателей	годы, тыс.тонн								
	2006	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Баткенская область	139,4	249,0	294,0	222,1	378,7	422,6	475,6	654,8	774,9
Джалал-Абадская область	23,3	159,8	146,9	130,4	155,6	120,4	300,9	264,5	191,7
Иссык-Кульская область	22,2	3,4	3,8	-	-	-	-	-	-
Нарынская область	105,1	753,2	820,9	867,6	1087,7	1252,2	1366,0	1 276,3	1 831,8
Ошская область	31,3	763,2	585,7	650,3	773,2	810,8	535,2	875,1	977,0
Чуйская область	-	-	-	-	-	-	-	-	-
г.Бишкек <sup>1</sup>	-	0,1	-	-	-	-	-	-	-

Всего по Кыргызстану	321,3	1 928,7	1 851,3	1 870,4	2 395,2	2 606,0	2 677,7	3 062,5	3 775,4
----------------------	-------	------------	---------	---------	------------	---------	------------	------------	------------

<sup>1</sup> Брикетты, полученные из каменного угля

Добыча угля в 2006 году по Кыргызстану составила всего 321,3 тыс. тонн, а в 2022 году 3,775,4 тыс. тонн.

Уголь является одним из основных энергоресурсов Кыргызской Республики и общие геологические запасы составляют 31,4 млрд. тонн [3-4].

### 1.1. Характеристика углей Алайского угленосного района и Южно-Ферганского бурого угольного бассейна.

Алайский угленосный район занимает северное и западное обрамление Алайской долины и в административном отношении он находится в Алайском, Чон-Алайском, Кара-Сууйском, Кадамжайском и Баткенском районах Ошской и Баткенской областей.

В пределах бассейна к настоящему времени выявлены месторождения и углепроявления, изученные и разведанные с различной степенью детальности: Текелик, Кызыл-Айрык, Норусколь, Бел-Алма, Кожо-Келен, Кара-Кабак, Кызыл-Булак, Сары-Могол, Кашкасу-Каракол, Чукур (Урмизан) и др. Из них более или менее детально изученными и частично разведанными являются месторождения Норусколь, Кызыл-Булак и Кожокелен, а остальные изучены только с поверхности [3].

Таблица 1.2- Качественные и количественные усредненные характеристики бурых углей Алайского угленосного района

Месторождение,	Зольность $A^d$ , %	Выход летучих веществ в $V^{daf}$ , %	Аналитическая влага, $W^a$ , %	Массовая доля рабочей серы $S_t^d$ , %	Углерод обобщенный $C_t^d$ , %	Водород обобщенный $H_t^d$ , %	Азот обобщенный $N_t^d$ , %	Удельная теплота сгорания $Q^{daf}$ , ккал/кг
Чукур	8,3-34,54 (23,11)	31,71-50,86 (41,68)	2,40-7,71 (4,96)	0,04-1,05 (0,59)	-	-	-	5050-6376 (5733)

Норускол	40,4- 44,8 (42,6)	33,8- 59,9 (46,85)	1,26- 28,55 (10,0)	0,3-1,1 (0,7)	-	-	-	3032- 6700 (4866)
Кызыл-Булак	5,05-42,89 (15,63)	35,71- 50,21 (41,67)		0,01-0,96 (0,027)	80,3	4,56	0,74	4492- 7551 (5785)
Белалма	4,0-40,0 (12,0)	27-40 (33,5)	6,7- 14,8 (10,7)	0,28	-	-	-	6500- 7150 (6825)
Кожокелен			6,0- 18,55 (12,25)					
Примечание: в скобках приведены усредненные результаты								

Показатели аналитической влаги углей Алайского угленосного района колеблется в широких пределах от 4,96% (Чукур) до 12,25 % (Кожо-Келен). Среднее значение выхода летучих веществ ( $V^{daf}$ ) почти для всех бурогольных месторождений довольно близки (от 33,5 % до 46,85 %), что соответствует бурым углям (марка Б).

Месторождения Алайского угленосного района отличаются от других месторождений юга Кыргызстана наибольшим разбросом показателя зольности: от 10-12 % (Белалма) до 42,6 % (Норускол). Величина удельной теплоты сгорания варьирует в широких диапазонах не только в различных месторождениях и углепроявлениях, но и в пределах одного месторождения и даже пласта. В количественном отношении она колеблется от 4866 до 6825 ккал/кг. Такой же разброс по показателям высшей и низшей теплоты сгорания отмечается во всех месторождениях угленосного района.

Месторождение Кызыл-Булак находится в Алайском районе, в южном склоне Алайского хребта, в бассейне сухого сая Кызыл-Булак (правый борт долины ручья Кальтатор). Ближайшими населенными пунктами являются село Талдысу, находящееся в 9 км от месторождения, и село Сарымогол (8 км).

Утвержденные запасы месторождения Кызыл-Булак на 01.01.1996 г. следующие (тыс. тонн): всего по месторождению – 3710, в том числе по категориям В - 197, С1 - 1573, С2 – 1940, ресурсы по категории Р1 – 369. Эти запасы распределены по блокам таким образом (тыс. тонн): Северный – всего –

479 (B1 – 79, C1 – 158, C2 – 242); Южный – всего – 3231 (B1 – 118, C1 – 1415, C2 – 1698) [3].

### **Южно-Ферганский буроугольный бассейн**

Бассейн объединяет месторождения и углепроявления, расположенные в северных предгорьях Туркестанского и Алайского хребтов. Главнейшие из них: Сулюкта, Шураб, Шуранская группа, Учкоргон, Кызылкия, Бешбурхан, Абшир, Жатан, Алмалык.

Южно-Ферганский буроугольный бассейн прослеживается узкой полосой, административно принадлежат к трем республикам Средней Азии Кыргызстану, Узбекистану и Таджикистану. Восточной границей бассейна служит река Акбуура, северной – равнинная часть Ферганской впадины, западной - река Исфана. Бассейн, по данным некоторых исследователей подразделяется на три региональные зоны, вытянутые в широтном направлении.

Из всех месторождений этого бассейна эксплуатируются Сулюкта, Учкоргон, Кызылкия, Абшир, Бешбурхан, Алмалык, Жатан. Однако темпы добычи почти на всех месторождениях резко снижены в 90-х годах прошлого столетия.

Как видно из таблицы 1.3, показатели зольности углей  $A^{daf}$ , наименьшее среднее значение  $V^{daf}$  установлены только в углях месторождений Сулюкта (среднее  $V^{daf}$  – 30,54 %), наивысшее – Кашкасуу (49,6 %), а в остальных месторождениях средние значения колеблется от 37,52 до 46,55% [3].

Разработка углей ведутся открытыми (карьерами) и подземными (шахтами и штольнями) способами. Выбор способа ведения горнодобывающих работ зависит в основном от расположения угольного пласта относительно земной поверхности. В Алайском угленосном районе наиболее распространен открытый способ добычи угля. Он имеет ряд преимуществ по сравнению с подземным: высокая безопасность и лучшая санитария, простая организация работ, возможность селективной выемки, более полное извлечение полезных

ископаемых, капитальные затраты и сроки строительства карьера меньше чем шахты.

В ходе добычи угля образуются угольные отходы, такие как угольные шламы, окисленные угли, угольный штыб и т.д. Чаще всего отходы вывозят на специализированные участки земли, где образуются отвалы (рисунки 1.1 и 1.3 отвал угольной мелочи на месторождении Кызыл-Булак и Кожо-Келен). Образовавшиеся отвалы отрицательно воздействуют на окружающую среду, именно загрязняют почву и грунтовые воды тяжелыми металлами, радионуклидами и токсичными веществами. В итоге почва теряет плодородные свойства и становится непригодной для сельскохозяйственной деятельности.



Рисунок 1.1 - Отсев угольной мелочи на месторождении Кызыл-Булак.

Таблица 1.3- Качественные и количественные усредненные характеристики бурых углей Южно-Ферганского буругольного бассейна

месторождения, углепроявления	Зольность $A^d$ , %	Выход летучих веществ $V^{daf}$ , %	Массовая доля рабочей серы $S_t^d$ , %	Углерод общий $C_t^d$ , %	Водород общий $H_t^d$ , %	Азот общий $N_t^d$ , %	Удельная теплота сгорания $Q^{daf}$ , кКалл/кг	Высшая теплота сгорания $Q^{daf}_s$ , кКалл/кг	Низшая теплота сгорания $Q_t^r$ , кКалл/кг
1. Сулюкта	17.0-27.5	19.0-55.1	0.03-6.3	73.78-78.45	3.63-4.33	0.82-4.0	3705-8722	6800	4260
	21.3	30.54	0.6	76.8	4.07	1.94	6651		
2. Шураб	23.9-29.9	37.1-42.7	0.69-0.8	69.55-73.36	2.86-3.56	0.9-4.1	3701-7638	6808-6919	4450
	26.8	39.9	0.74	71.38	3.23	2.0	6318	6864	
3. Шуранская группа	6.13-39.9	26.1-49.2	1.48-1.83	64.13-70.17	4.19-5.26	0.8-1.16	6900-7200	6790-6890	3980
	19.6	39.08	1.57	67.15	4.72	0.98	7050	6824	
4. Учкоргон	7.71-34.0	35.2-81.5	0.28-3.7	69.3-78.28	4.01-6.15	0.9-1.95	н/о	6386-7900	н/о
	18.69	44.93	1.37	74.7	5.5	1.42		7120	
5. Кызылкия	16.9-25.6	38.3-42.5	1.57-4.02	70.91-75.9	5.83-4.83	0.83-1.83	6971-7217	6000-6997	4264
	18.79	40.41	2.92	71.15	4.36	1.36	6993	6943	
6. Бешбурхан	3.68-29.2	26.5-52.8	0.08-9.90	69.56	4.9	1.77	5991	5294-7895	-
	19.41	37.52	1.62					6800	
7. Абшир	8.9-28.7	34.7-57.4	0.0-7.0	49.75-76.54	1.95-5.91	1.25-2.95	5400-7400	6093-5880	3370
	21.81	46.55	1.78	68.36	4.23	1.93	6515	6660	
8. Жатан	2.82-39.9	33.3-56.3	0.42-4.08	72.12-79.62	4.24-4.92		4500-7457	6920	4100
	21.35	44.92	2.25	75.87	4.58		6578		
9. Алмалык	9.5-32.9	39.4-44.8	0.2-7.0	54.78-79.96	3.06-9.22	0.37-0.9	4513-7993	4820-4990	3544
	21.2	42.1	1.72	73.5	6.0	0.63	7099	4897	
Среднее по бассейну	20.99	46.66	1.62	72.5	4.62	1.5			



Рисунок 1.2 - Отвал на месторождении Кызыл-Булак.



Рисунок 1.3 - Отвал на месторождении Кожо-Келен.



Рисунок 1.4 -Отсев угольной мелочи на месторождении Кожо-Келен.

Анализ угольных отходов показывают, что главной проблемой в угольной промышленности является их утилизация.

В настоящее время к современным способам энергетического использования, позволяющим эффективно перерабатывать низкосортное сырье, является сжигание в кипящем слое [5], применение низкотемпературных вихревых топок [6], газификация [7,8] или каталитическое сжигание [9,10]. Однако перечисленные способы требуют значительных капиталовложений для замены или модернизации имеющегося на данный момент котельного оборудования, что приводит к долгим срокам окупаемости. Таким образом, переработка низкосортного сырья для эффективного энергетического использования в существующем котельном оборудовании является *актуальной научно-технической задачей*.

Потребность удаленных населенных пунктов в энергетическом топливе в основном реализуется котельными жилищно-коммунального хозяйства и

малых предприятий, в распоряжении которых находятся топливосжигающие устройства слоевого типа. Сжигание несортированного низкосортного сырья в таких топочных устройствах неэффективно из-за больших потерь тепла вследствие провала мелких частиц топлива сквозь колосниковую решетку. В связи с этим необходимо получить композиционное твердое топливо (КТТ) (формованное сырье с различными связующими материалами без них), наиболее распространенным способом которого является *брикетирование*. Брикеты не требуют модернизации топливо сжигающего оборудования и подходят для всех типов слоевых топок.

## **1.2. Научно-технологические основы получения КТТ с использованием угольных мелочей**

Основоположниками теории и практики брикетирования можно считать Г.Франка и К.Кегеля (Германия) [11,12]. К.Кегелем были установлены закономерности влияния влажности шихты на прочность топливного брикета. В настоящее время в Германии одним из исследователей процессов агломерации и их промышленного применения является П.Вольфганг [13,14], из Технического университета Фрайбергской горной академии[15]. В Соединенных штатах Америки существовал специализированный «Институт брикетирования и агломерации»[16], в котором регулярно проводились симпозиумы, посвященные проблемам окискования полезных ископаемых. В Австралии и Европе разрабатывались и внедрялись технологии пеллетного производства(прессованные гранулы цилиндрической формы из отходов деревопереработки)[17,18].

Одним из основоположников школы брикетирования в СССР являлся профессор Донецкого национального университета Елишевич А.Т.[19,20]. Изучению вопроса брикетирования углей также посвящены работы Крохина

В.Н.[21,22], Хотунцева Л.Л.[23], Аكوпова М.Г.[24], Пахалока И.Ф [25], Лурия В.Г., Лурье Л.А.[26], Наумовича В.М., Шпирта М.Я., Рубана В.А.[27].

В России теоретическими и практическими вопросами брикетирования занимаются как промышленные предприятия, так и вузы, научные организации. Среди них ФГУП Институт горючих ископаемых (г. Москва), разработавший технологию производства высококалорийного бездымного и транспортабельного окускованного топлива, в том числе термобрикетов. Восточный научно-исследовательский углехимический институт (ОАО ВУХИН, г. Екатеринбург), Институт угля и углехимии СО РАН (г. Кемерово). Институт обогащения твердого топлива (ИОТТ, г. Люберцы, лаборатория брикетирования и гранулирования), занимается проблемами обогащения и облагораживания угля, производством и внедрением автоматизированных брикетных вальцевых комплексов (ЗАО «Спецтехномаш», ПО «Коломенский завод тяжелого станкостроения») [28, 29]. Институтом ИОТТ разработаны прогрессивные технологии брикетирования углей, не имеющие зарубежных аналогов.

Институт горного дела им. Н.В. Черского СО РАН занимается вопросами углебрикетирования и влияния электрохимической переработки на брикетируемость бурых углей [30,31]. Институтом проблем нефти и газа СО РАН, выявлены закономерности *влияния механоактивации наполнителя топливного брикета на его потребительские свойства.*

Научными сотрудниками ИОТТ впервые в российской практике были предложены, разработаны и реализованы в промышленности прогрессивные технологии и высокопроизводительное оборудование, учитывающие особенности физико-химических и физико-механических свойств российских углей и связующих, а также коммунально-бытовых теплоагрегатов, предназначенных для слоевого сжигания твердого топлива. Разработана оригинальная технология с применением нефтебитумного связующего для облагораживания Канско-Ачинских углей [32], созданы технологии

производства облагороженного формованного топлива из низкосортных твердых бурых углей, мелочи и шламов каменных углей и антрацитов.

В Уфимском государственном нефтяном техническом университете исследования по брикетированию бурых углей с использованием связующей коксо-асфальтовой композиции проводились А.В.Зориным и А. М. Лобычем проведена работа по брикетированию коксовой мелочи со связующими с целью получения металлургического кокса [29, 32,33].

Работы Жалгасулы Н. [34] также посвящены проблеме брикетированию угольной мелочи.

Нифонтов Ю.А., Коршунов Г.И. и Лукьянец Б.Н. разработали концепцию брикетирования тонких классов углей Шурабского месторождения бурых углей Таджикистана. Авторами совместно со специалистами АООТ «АНГИШТ» г. Исфара Республика Таджикистан, проведены промышленные испытания брикетного пресса производительностью 2000 кг/час брикетов[29].

Современная теория брикетирования характеризуется наличием большого количества гипотез (битумная, гуминовокислотная, капиллярная, коллоидная, гипотеза молекулярного прилипания, гидратационно-молекулярная гипотеза), объясняющих механизм образования брикетов. Теоретические представления о механизме образования брикета дано русскими учеными И. Д. Ремесниковым, Л. А. Лурье, И. Е. Святцем, Б. М. Равичем, А. Т. Елишевичем, В. Л. Окладниковым, Н.С.Егоровым, Ю.В. Нифонтовым, В. М. Наумович, А.А. Агроскин и др. [35-38].

*Вместе с тем, многие вопросы по использованию некондиционных угольных отходов, такие как разработка технологических регламентов брикетирования угольной мелочи применительно к конкретным разрабатываемым месторождениям, остались недостаточно изученными. Не в полной мере рассматривались проблемы комплексной переработки и эксплуатации бурогольных месторождений. Недостаточно исследован*

*вопрос изготовления брикетированного топлива, полученного с привлечением неорганических связующих материалов в частности, глины, лессового суглинки, а также влияние предварительной механической активации глин на прочность получаемого брикета.*

### **1.3. Литературный анализ технологии брикетирования углей в мире и в Кыргызской Республике**

Во многих современных исследованиях в области брикетирования проявляется интерес к разработке состава топливного брикета на основе угля с добавками углеродсодержащих материалов, в том числе отходов деревообрабатывающей и угольной промышленности [39-44].

Известны работы [45–54] по производству топлива из углеродистого остатка, основанные на использовании связующих веществ и последующем прессовании. Однако прессовое оборудование является довольно дорогостоящим, а процесс прессования требует повышенных энергозатрат на его осуществление. Учитывая высокую стоимость электроэнергии и оборудования, рыночная цена существующего композитного топлива (топливных брикетов Ruf, Pini Kay, Nestro) составляет 4000–12000 руб за тонну, что в несколько раз превышает стоимость привозного топлива и приводит к ярко выраженной экспортной направленности производства [50, 51].

*Подбор специального типа связующего вещества позволит снизить необходимые для формования усилия и заменить прессы менее энергоёмким и более дешевым оборудованием шнекового типа, тем самым снизив и себестоимость самого топлива. Исходя из этих соображений, в Томском политехническом университете разработана технология получения твердого композитного топлива из низкосортного сырья [55]. Согласно [55] переработка низкосортного сырья в композитное топливо осуществляется в три стадии: теплотехнологическая переработка исходного сырья, формование*

и сушка композитного топлива. На первой стадии низкосортное сырье подвергается низкотемпературному пиролизу при температурах (200–450) °С, в результате которого получают полукокс, пиролизный конденсат (пиролизная смола и подсмольная вода) и топливный газ.

В настоящее время разработано большое количество методов и устройств получения окускованного твердого топлива. Существуют методы и устройства брикетирования угля без применения связующих материалов. Одним из них является способ брикетирования и устройство и способ формования порошкообразного угля [56,57]. Предложено устройство подачи сырья и способ подачи сырья для предприятия по производству угольных брикетов, который улучшает поток подачи сырья и предотвращает засорение путем минимизации блокировки потока из-за прилипания или агломерации сырья внутри устройства подачи. [58]. Известно, что для обеспечения необходимой прочности угольных брикетов в их состав в качестве связующего добавляются отходы древесины (щепа, опилки) и лигнин, при этом содержание угля в смеси составляет 30-70% по массе.

Анализ патентной информации подтверждает высокий интерес к вопросу брикетирования твердых горючих ископаемых, *особенно актуален поиск новых связующих* [60-66].

Среди способов брикетирования угольного сырья со связующим, можно выделить группу связующих материалов на основе нефтепродуктов. Известны способы получения топливных брикетов с применением таких связующих материалов как нефтешлам (осадок в нефтяных маслах), отработанное машинное масло [67], остатки нефтепереработки [68,69], углеводородное связующее [68], битумный пек, битуминозная связующая композиция, повышающая ударную вязкость и эластичность брикетов. Смесь содержит битуминозное связующее и клиновидный блокочный сополимер

типа А-В-А, получаемый из ароматического винильного соединения и конъюгированного диена [70].

*Проведем краткий обзор способов брикетирования со связующим, не содержащим продукты нефтепереработки.*

В литературе упоминается также применение глины в качестве связующего компонента, однако брикетам из углей, содержащих глину, присуща плохая водостойкость, которая объясняется гигроскопичностью и набуханием глины при соприкосновении с водой. С водорастворимым связующим получают брикеты с такими наполнителями как угольная крошка, шлам, опилки, скорлупа и измельченная кора [71]. Помимо углеродсодержащих наполнителей, брикеты могут содержать неорганические компоненты – например, оксиды титана и кремния 0,8-1,2 (% масс)[72] оксиды тория, цезия [73]. Неорганические добавки также могут играть роль катализатора [74].

Актуальна разработка экологически чистых способов получения топливных брикетов. Добавка остатков сахарной промышленности, твердых отходов свекольной очистки и углеродистых осадков сахарного производства позволяют снизить выбросы  $SO_2$ ,  $Cl_2$  и  $NO_x$  и использовать зольный осадок от сгорания брикетов в качестве удобрений [75]. Экологичными можно назвать и брикетные производства, в которых происходит утилизация отходов производства - нитрата целлюлозы, торфа и угольной мелочи, накапливаемой при железнодорожной перевозке [76]. Бездымные брикеты имеют в своем составе поливиниловый спирт и черную патоку в качестве связующих [77].

Для снижения поверхностного натяжения и улучшения фазовых взаимодействий применяют добавку поверхностно активного вещества в топливный брикет [78].

Для повышения качественных характеристик композитных топливных брикетов (увеличение теплоты сгорания, снижение количества зольного

остатка) предлагается проводить обогащение угля перед брикетированием [79]. Недостатком мокрых способов обогащения является потребность в утепленных зданиях для работы при низких температурах, дополнительном обогатительном и обезвоживающем оборудовании для шламов, значительных площадях для организации водно-шламовой схемы [80 - 83].

Одним из наиболее перспективных направлений в настоящее время считается *брикетирование биомассы*. Существуют комбинированные технологии, совмещающие переработку твердых горючих ископаемых и биомассы. Введение в брикет пористых возобновляемых углеродсодержащих отходов не только решает экологические проблемы и удешевляет стоимость товарного продукта, но и способствует улучшению кинетики сгорания.

В США [84,85] развита технология брикетирования “Pest-o-log”, в Швейцарии - “Glomera” и “Compress” в Западной Германии (брикетирование бурых углей без связующего). В целом в Германии 75% бытового твердого топлива приходится на буроугольные брикеты, для специальных топок применяются антрацитовые брикеты и в меньшей мере, непосредственно каменный уголь.

Несмотря на многочисленные исследования, технологии брикетирования с применением связующих компонентов не получили практического применения. Индонезия и Шри-Ланка предпринимают активные меры по увеличению количества брикетных производств. Во Вьетнаме и Таиланде брикеты используются в основном в домашних целях [85].

Во Франции разработаны и получили распространение способы получения малодымного каменноугольного брикетного топлива для бытовых целей (3,3 млн. т./год). В США используют топливные брикеты для коммунального и бытового секторов (штат Миннесота, 9 млн. т. брикетов в год). В Польше каменноугольную мелочь брикетируют со связующим (1,5 млн. т в год). Углебрикетное производство развито также в Англии, Бельгии,

Чехии, Венгрии, Румынии, Турции, Китае и других странах. Для увеличения объема производства угольных брикетов в бюджете РФ предусмотрены значительные капитальные вложения. В СССР брикетирование получило довольно широкое применение в начале 80-х годов:

— без связующих на штемпельных прессах молодых бурых углей марки Б1 Южно-Уральского и Верхнеднепровского бассейнов;

— брикетирование с нефтебитумным связующим на вальцевых прессах каменноугольной мелочи и антрацитовых штыбов.

Брикеты отгружались потребителям без термической и термоокислительной обработки. К 1990 году находились в эксплуатации:

— две каменноугольные брикетные фабрики, на которых брикетировались мелочь каменных углей и антрацитовых штыбов по технологии прессования с нефтебитумным связующим на вальцевых прессах (Донецкая брикетная фабрика производительностью 630 тыс. т брикетов в год, Шаргунская брикетная фабрика производительностью 130 тыс. т брикетов в год.)

— пять буроугольных брикетных фабрик на базе мягких бурых углей марки Б1, работающих по технологии брикетирования без связующего на штемпельных прессах (самые крупные из них Кумертаусская, работавшая до 2000 года — производительностью 3,9 млн. т в год, брикетная фабрика ПО «Александрия уголь» суммарной мощностью 4,4 млн. т в год). Технология производства на буроугольных брикетных фабриках принципиального отличия от зарубежных аналогов не имела.

В настоящее время каменноугольные брикеты изготавливаются из каменного угля Кузнецкого угольного бассейна (марки СС, Т) с применением экологически чистого связующего предприятием «Альфа Уголь Регион», г. Новокузнецк, производственной компанией «Брикет-пресс», Республика Адыгея, г. Майкоп и др. Также можно выделить: ООО «Обогащительный комплекс «Брикет уголь»», республика Саха (Якутия); ООО «Воркутинское

брикетное производство»; ООО «Брикет» (г. Новокузнецк); ООО Научно-производственное предприятие «Промтехуголь» (Московская обл.); УБФ «Русовен»; ООО «Русский топливный брикет» (Тульская обл.); ООО «Сибирский брикет» (Красноярский край). В Дальневосточном регионе, потребляющим в процентом отношении наибольшее количество угля, углебрикетное производство не развито.

В Кыргызской Республике исследованиями в области рационального использования угольных мелочей занимались Джаманбаев А.С.[86,87], Баймендиева А.Ш., Текенов Ж.Т. [88,89] Курманкулов Ш.Ж. [90-91] Исманжанов А.И. [92] и др. В работах этих ученых исследовались взаимодействие и влияние неорганических связующих на процессы брикетирования угля. Теоретические основы брикетирования, а также вопросы комплексного использования, переработки угля рассматривались в работах А.С.Джаманбаева [87], Ж.Т.Текенова [88,89], Ы.Ташполотова [95-99] и др.

Отметим, что промышленное производство брикетов в Кыргызстане начались в последние 20 лет. Например, «Йонган энерджи» предприятие выпускал угольные брикеты, в качестве связующего материала были использованы лессовые суглинки, ОсОО «Биркет KG» совместно с АО «Жазы» производят угольные брикеты в Узгенском районе Ошской области.

### **1.3.1. Методы активации связующих и их влияния на структуру и реакционную способность композитного топлива.**

Одним из способов повышения эффективности брикетирования угля является *механическая активация компонентов топливного брикета*. Под действием ударных нагрузок или трения в твердом теле накапливаются разнообразные дефекты структуры, происходят полиморфные превращения и даже аморфизация. При этом свободная энергия обрабатываемого материала увеличивается на величину  $\Delta G^*$ :

$$\Delta G^* = \Delta G^*_{\text{пов}} + \Delta G^*_{\text{деф}}, (1.1)$$

где  $\Delta G^* = G^* - \Delta G_{\text{исх}}$ ;  $G$  и  $G_{\text{исх}}$  — свободные энергии продукта измельчения и исходного твердого тела;  $\Delta G^*_{\text{пов}}$  — избыточная поверхностная энергия;  $\Delta G^*_{\text{деф}}$  — энергия образования дефектов.

Однако, рост удельной поверхности, а, следовательно,  $\Delta G^*_{\text{пов}}$  происходит до определенной величины (до достижения равновесного измельчения) [100]. Нарушения кристаллической решетки продолжают расти также до определенного момента, но когда при интенсивной «накачке» энергии кристаллическая решетка не в состоянии удерживать вновь образующиеся дефекты, наступает скачкообразное изменение термодинамического состояния (полиморфное превращение, если таковое возможно, или аморфизация). Такие явления объясняют качественное изменение реакционной способности твердых тел [101-104]. Увеличение запасенной в процессе измельчения энергии можно определить прямыми калориметрическими измерениями, методом дифференциально-термического анализа (ДТА) (по изменению площадей пиков на термограммах) или косвенно, например, по данным о кинетике взаимодействия твердых тел с реагентами при различных режимах предварительной механической обработки [105,106]. Структурные нарушения в решетке минералов оценивают по интенсивности и уширению полос на дифрактограммах. Разработаны методы, позволяющие определять изменения размера областей когерентного рассеяния рентгеновских лучей и искажения параметров решетки. Важную информацию о нарушениях структуры и изменении энергий химических связей может дать ИК-спектроскопия активированных и неактивированных твердых тел. На ИК - спектрах в ряде случаев наблюдаются смещения, а иногда исчезновение старых и появление новых полос поглощения. Кроме перечисленных, для изучения механически активированных твердых тел применяют различные методы радиоспектроскопии, в частности, метод электронного парамагнитного

резонанса (ЭПР) и мессбауэровской спектроскопии, которые позволяют регистрировать образование радикалов (парамагнитных центров), а по уширению мессбауэровской линии, которое может произойти в диамагнитных атомах за счет различного рода неоднородностей решетки, дефектов и протяженных дислокации, судить о характере образующихся при механоактивации примесных центров.

Для механоактивации используют различные аппараты: вибромельницы, дезинтеграторы, струйные мельницы, планетарные центробежные мельницы (ПЦМ). Наиболее эффективны аппараты типа ПЦМ, в которых, в отличие от других типов, реализуется стесненный удар: частицы деформируются с нескольких сторон одновременно. При этом сила ударных нагрузок мелющих тел достигает в ПЦМ более 100 g, а частота — десятков герц. Высокие степени диспергирования (менее 10 мкм) достигаются в ПЦМ за время, исчисляемое секундами. Вместе с тем необходимо отметить, что высокой степени диспергирования не обязательно соответствует наибольшая концентрация структурных дефектов, обуславливающих повышенную реакционную способность. После достижения равновесного измельчения скорость взаимодействия твердых тел с реагентами продолжает расти [104,107].

Многочисленные данные свидетельствуют о том, что, хотя измельчение различных материалов в водной среде идет до меньшей крупности (за счет эффекта Ребиндера) «сухое» измельчение при меньшей степени диспергирования приводит к более глубоким структурным нарушениям. Это происходит, по-видимому, за счет отсутствия в последнем случае амортизирующего эффекта среды, проявляемого при измельчении твердых тел в ПЦМ в водной пульпе, что уменьшает частоту и силу удара шаров [108].

*В настоящее время недостаточно исследованными остаются вопросы влияния механической и химической активации связующего вещества на*

*прочностные характеристики топливных брикетов.* Нами предлагается с целью увеличения удельной поверхности, поверхностной энергии вещества проводить механическую и химическую активацию связующего вещества топливного брикета.

Выдвинута гипотеза о частичной деструкции внутримолекулярных связей и отщеплении радикалов с высокой реакционной способностью, повышении удельной поверхности и поверхностной энергии связующего в результате механической активации, затрачиваемой на межфазное взаимодействие компонентов брикета. Предполагается, что механо и химическая активация связующего топливного брикета оказывает положительное влияние на его прочностные характеристики.

### **1.3.2. Технологические параметры брикетирования: влияние влажности, температуры шихты, длительности прессования гранулометрического состава**

Основные технологические параметры брикетирования угля: влажность, крупность прессуемого угля (сушенки), давление прессования, температура шихты и продолжительность прессования. Эти параметры находятся между собой в определенной зависимости [109].

Зависимость механической прочности брикетов от каждого отдельного параметра брикетирования угля часто носит экстремальный характер. Значение параметра, при котором получается максимальная прочность брикетов, принимается за оптимальное. Для углей хорошей брикетируемости эта экстремальная зависимость механической прочности от отдельных параметров брикетирования имеет более резко выраженный характер, особенно для показателей прочности брикетов на изгиб и сжатие. Абсолютный показатель прочности на изгиб при оптимальных условиях брикетирования молодых бурых углей достигает при этом более 2 МПа, на сжатие — более 15 МПа. Отношение показателей прочности брикетов на

сжатие к прочности на изгиб обычно находится в пределах 10. С ухудшением брикетируемости угля экстремальная зависимость изменения прочности брикетов становится менее выраженной, а отношение показателя прочности на сжатие к прочности на изгиб возрастает [110].

В работе [111] рассмотрены вопросы брикетирования углеродосодержащего сырья на основе местных топлив и отходов различного происхождения. Описаны технология и оборудование для приготовления топливных брикетов для систем индивидуального и централизованного энергообеспечения в сельской местности. Рассмотрена проблема утилизации и использования твердых бытовых отходов для их брикетирования, в том числе с применением механоактивации, и последующей энергетической переработки.

Содержащаяся в сушенке влага участвует в механизме образования брикета. Давление прессования создает условия для возникновения сил молекулярного взаимодействия при сближении поверхности угольных частиц. Изменение содержания влаги в сушенке влияет на силы сцепления между частицами угля. При оптимальном содержании влаги более полно проявляются молекулярные силы сцепления угольных частиц. При недостатке влаги уменьшается поверхность частиц, покрытых водяными пленками, обуславливающими максимальную величину сил сцепления, в результате чего снижается прочность брикета. В этом случае необходим более тесный контакт частиц, который можно достигнуть увеличением давления прессования. Однако увеличение давления прессования может происходить только до определенного предела [112].

Чрезмерное увеличение давления может привести к утолщению водных пленок вследствие излишнего выжима влаги из внутренних капилляров, что отрицательно скажется на силах взаимодействия частиц и приведет к, так называемой, перепрессовке материала. Избыток влаги в сушенке также отрицательно влияет на прочность брикетов, так как обуславливает

увеличение толщины водных пленок и уменьшает силы сцепления частиц. Оптимальная влажность сушенки, соответствующая наибольшей прочности брикетов, не является постоянной и зависит от давления прессования, крупности сушенки и природы угля. При увеличении давления прессования, а также при повышении твердости и ухудшении брикетированности угля оптимальная влажность сдвигается в сторону меньших значений.

Оптимальное значение влажности можно установить брикетированием сушенки различной влажности при постоянном давлении, а оптимальное давление прессования — брикетированием сушенки заданной влажности при различном давлении.

Крупность сушенки влияет на оптимальную влажность главным образом при высоких давлениях прессования. При малых давлениях разница в оптимальной влажности для сушенки различной крупности незначительна. При уменьшении крупности сушенки и повышении давления прессования оптимальная влажность возрастает. Это объясняется увеличением суммарной поверхности более мелких угольных частиц, которые должны быть покрыты пленкой воды.

Для мягких молодых бурых углей при крупности сушенки 0 - 4 (6) мм оптимальная влажность брикетов составляет 16—19 %.

В практических условиях влажность брикетов, вырабатываемых для энергетических целей, т. е. брикетов, подлежащих продолжительному хранению, принимается исходя из их гигроскопических свойств.

Находясь на поверхности угольных зерен, вода способна создавать гидратную пленку, влияющую на адгезионную прочность связующего с углем. Известно, что при избытке влаги на поверхности угля образуется жидкая пленка, не позволяющая связующему прочно прилипнуть к углю, при этом смачивающая способность связующего уменьшается и, как следствие, механическая прочность брикетов снижается. Кроме того, при переработке влага при соприкосновении с горячим связующим интенсивно испаряется,

что вызывает охлаждение связующего и уменьшение его смачивающей способности. Изменение содержания влаги в сушенке влияет на силы сцепления между частицами угля. При оптимальном содержании влаги более полно проявляются молекулярные силы сцепления угольных частиц. Оптимальное значение влажности угольной мелочи установлено исследованием прочностных показателей брикета при различных давлениях прессования образцов. В технологиях без применения связующих прочность при сжатии образцов максимальна при влажности угля 10–11%. Дальнейшее увеличение содержания влаги в угле от 12 до 20 % приводит к снижению адгезии между углем и связующим из-за резкого нарушения адсорбционных контактов в межфазной зоне, в результате чего происходит падение прочности.

#### ***Влияние температуры шихты на прочностные характеристики композита***

С увеличением температуры угля увеличивается его пластичность, уменьшаются трение между частицами и величина их упругих деформаций, в результате чего повышается прочность брикетов. С повышением температуры угля уменьшается вязкость воды и облегчается выход ее из капилляров на поверхность угольных частиц [112]. В результате увеличения пластичности и уменьшения упругих свойств возрастает показатель пластичности угля и заданную прочность брикетов можно получить при меньшем давлении прессования. В практике температуру прессуемого угля можно увеличивать до определенного предела. Оптимальная температура сушенки зависит от свойств брикетируемого угля, крупности сушенки и целевого назначения брикетов. При брикетировании для энергетических целей мягких бурых углей крупностью 0–6 мм и влажностью 18–19 % повышение температуры сушенки более чем на 50 °С может повлечь ухудшение прочности брикетов вследствие возрастания выделения из них водяных паров.

Положительное значение температуры угля особенно сказывается при брикетировании твердых бурых углей, когда нагрев их до 60-70°C и уменьшение крупности являются основными условиями получения брикета требуемого качества.

### ***Длительность прессования и прочность композита***

Время и скорость нарастания давления влияют на соотношение пластических и упругих деформаций. Вид деформаций в сжимаемом материале зависит от продолжительности воздействия прикладываемого давления. При очень быстром и мгновенном приложении давления имеют место деформации материала, которые являются в основном упругими. С уменьшением скорости нарастания давления и увеличением времени его воздействия доля пластических деформаций возрастает, а доля упругих уменьшается.

На сближение частиц и уплотнение материала влияет степень удаления воздуха из пустот между частицами. Быстрое наложение давления способствует запрессовке воздуха, и, наоборот, с уменьшением скорости нарастания давления возрастает полнота удаления воздуха из сжимаемого материала. Уменьшение объема запрессованного воздуха улучшает прочность брикетов. В практике при малом времени прессования сушенки в штемпельных прессах прочность брикетов снижается в значительной степени также в результате уменьшения давления прессования (динамический коэффициент трения брикетов о стенки пресс-форм уменьшается). Уменьшение скорости прессования способствует повышению прочности брикетов, но приводит к снижению производительности оборудования. Оптимальная скорость прессования (частота вращения пресса) принимается в каждом случае исходя из технико-экономических соображений.

### ***Крупность и гранулометрический состав компонентов композитного топлива и материалов***

При уменьшении крупности брикетируемого материала увеличивается суммарная поверхность частиц и, следовательно, возрастает общая сила сцепления. Кроме того, уменьшение крупности угля способствует более плотной укладке частиц перед прессованием и образованию монолитного брикета, уменьшаются время и расход энергии на хрупкие и упругие деформации материала при прессовании и увеличивается доля энергии и времени на полезные пластические деформации. Следовательно, чем тоньше измельчен уголь, тем в большей степени проявляются силы сцепления частиц и тем прочнее становятся брикеты.

Кроме крупности частиц на образование брикетов влияет гранулометрический состав брикетируемого материала, который характеризует соотношение в материале частиц различного размера и влияет на плотность укладки частиц. При наличии в сушенке повышенного содержания крупных частиц увеличиваются число и размеры пустот в массе сушенки и часть энергии прессования затрачивается на разрушение некоторой доли крупных угольных зерен и заполнение пустот. Расход энергии на пластические деформации будет уменьшаться, а прочность получаемых брикетов - снижаться.

Плотность упаковки тесно связана с размером зерен. Мелкие зерна более ребристы, и теплота их смачивания в 4 раза выше, чем крупных. Большое содержание крупных зерен (более 6 мм) отрицательно сказывается на прочности брикетов. При прессовании такие частицы легко растрескиваются, появляются новые поверхности, непокрытые связующим. Наличие пылевидных частиц приводит к повышению удельной поверхности, а, следовательно, и возрастанию расхода связующих, что способствует уплотнению брикетов в результате активного заполнения пустот.

Плотность упаковки угольных порошков композиционного брикета и композиционного материала существенно влияет пористость структуры. Как бы тщательно не были упакованы твердые зерна в формы, между ними

всегда есть поры. У брикетов из тонкозернистых частиц поры мелкие и в основном они заполнены связующим. Дефектов в виде пустот мало, прочность брикетов велика. Брикеты с преобладанием крупных зерен имеют большое число дефектов, объемного слоя связующего для заполнения в них пустот не хватает, поэтому эти брикеты имеют низкую прочность. Для повышения прочности упаковки рекомендуется вводить в брикетную смесь пылевидные частицы, легко проникающие в пустоты.

Неровности и шероховатости материала положительно влияют на механическое закрепление на нем связующего, повышая прочность брикетов.

Прочность брикетов тем ниже, чем однороднее ситовый состав. Однородная смесь не позволяет обеспечить должную плотность упаковки, зерна укладываются со значительным числом пустот в каркасе, давление прессования неравномерно распределяется в объеме системы, брикеты легко деформируются.

Одним из важнейших этапов подготовки является шихтовка углей по гранулометрическому составу. Эта операция необходима для максимального уплотнения частиц смеси. По качеству упаковки частиц наиболее плотной считается так называемая смесь Фуллера-Томпсона:

$$S = 100 \cdot \sqrt{\frac{d}{D}} \quad (1.2)$$

где  $S$  – массовая доля фракции, %;

$d$  – максимальный размер гранулы фракции, мм;

$D$  – максимальный размер гранулы в смеси [112].

Крупные и мелкие частицы угля теряют влагу неодинаково. При сушке крупные частицы не досушиваются и содержание влаги в них выше среднего значения для сушенки, а мелкие частицы пересушиваются и для их прессования требуется давление значительно более принятого.

Неравномерность в распределении влаги по классам сушенки оценивается по разнице в содержании влаги сушенки крупностью - 0,5 и +4

(6) мм. Условия сушки угля также влияют на неравномерность влагосодержания, которая может достигать до 18 - 20 %. Неравномерное распределение влаги в сушенке снижает прочность брикетов, ухудшает их устойчивость при хранении и термическую стойкость при горении. С уменьшением размеров частиц снижается неравномерность влагосодержания в них.

Таким образом, уменьшение крупности угля положительно сказывается на процессе брикетирования и качестве брикетов. Однако получение сушенки более тонкого измельчения удорожает и усложняет процесс ее подготовки, повышается опасность производства.

Крупность угля при брикетировании принимается в зависимости от целевого назначения брикетов. Излишнее переизмельчение угля при производстве энергетических брикетов нежелательно, так как увеличивается содержание в сушенке пересушенной пыли, ухудшающей брикетируемость угля. Кроме того, вследствие уменьшения пористости брикетов, изготовленных из переизмельченного угля, снижаются их теплотехнические свойства. Такие брикеты трудно загораются и плохо (вяло) горят. Поэтому при производстве энергетических брикетов верхний предел дробления угля ограничен крупностью 4-6 мм, причем средний размер частиц сушенки не должен превышать 1,5 мм, а содержание в сушенке тонкой пыли (- 0,25 мм) должно быть не более 15%. Крупность частиц брикетируемых без применения связующего бурых углей составляет 0-6 мм. При брикетировании мягких бурых углей крупность сушенки должна быть 0-4 мм, влажность 18-19 %, температура около 20-40°C, частота вращения штемпельных прессов 80-100 мин<sup>-1</sup>. При брикетировании твердых бурых углей крупность сушенки уменьшается до - 3 мм, влажность — до 9 (12) % и прессование производится без охлаждения сушенки при температуре 70-80 °C и частоте вращения пресса 65-75 мин<sup>-1</sup>.

С увеличением степени углефикации угля и его твердости необходимо уменьшать влажность брикетируемого угля, увеличивать давление прессования и температуру сушки по сравнению с этими же параметрами при брикетировании молодых углей.

Крупность частиц угля и гидролизного лигнина в шихте должны обеспечивать ее максимальную уплотняемость, при которой обеспечиваются наибольшая прочность контактов между зернами и высокая прочность брикетов при минимальном расходе связующего на брикетирование. При неправильно выбранном ситовом составе шихты или плохой ее подготовке пространство между зернами угля заполняется связующим или его смесью с мелкими зернами угля, нарушается необходимая связь между угольным зернами, что делает невозможным получение брикетов необходимой прочности [20], [21].

Процесс развития технологий брикетирования некондиционной угольной мелочи и их внедрение в технологии получения тепловой и электрической энергии, в условиях современной России тормозится, в частности, из-за отсутствия общепризнанных методов оценки брикетируемости углей и классификации их по этому признаку.

Ю.В. Шуваловым, Ю.Д. Тарасовым и А.Н. Никулиным предложена оценка брикетируемости углей различных марок по элементному составу органической массы углей — содержанию С, Н, О и соотношению между этими элементами, т.е. по степени метаморфизма угля. Соответственно все угли классифицированы в следующий ряд: хорошо брикетирующиеся молодые бурые угли; хуже брикетирующиеся средние и старые по возрасту бурые угли; трудно брикетирующиеся (без связующих веществ) — каменные угли [113].

Поэтому для определения брикетируемости угля производится комплексное исследование его химических, физических, физико-химических и петрографических свойств, а затем выполняются лабораторные

исследования на брикетированность и испытание качества получаемых брикетов. Оценка брикетированности угля по результатам лабораторного брикетирования сводится к определению зависимости механической прочности получаемых брикетов от условий прессования, а также к определению их водостойкости и термической стойкости при горении. На основании полученных зависимостей устанавливаются оптимальные условия брикетирования угля, при которых получаются брикеты, удовлетворяющие требованиям по качеству. Исходя из результатов, полученных в лабораторных условиях, проводятся полупромышленные и промышленные испытания углей на брикетированность, т. е. брикетирование угля на оборудовании и в условиях, близких к существующим на брикетных фабриках.

#### **1.4. Цели и задачи исследований**

Проведенный обзор выявляет повышенный интерес к проблеме получения кускового композитного топлива на основе угля. Несомненно актуальность разработки технологии получения высококачественного сортового кускованного топлива, предусматривающей вовлечение в переработку отсева, отходы углеродной переработки, угольная мелочь, накапливаемая при перевозке и погрузочно-разгрузочных операциях. Применение в качестве связующего материала отходов нефтепереработки позволяет повысить теплотворную способность брикетов, влагостойкость и снизить окисляемость бурых углей.

##### ***Цель работы.***

Целью диссертационной работы является разработка технологии получения композиционного твердого топлива на основе отходов угледобычи КР с использованием активированных связующих (лессовой и бентонитовой глины, гуматов из окисленных углей, вещества при

терморастворении углей) и экспериментальное определение условий и характеристики сжигания топлива для управления процессами их горения.

***Основные задачи работы.***

Для достижения указанной цели определены следующие задачи:

-выбор объекта исследования - отходов угледобычи угольных месторождений юга Кыргызстана и их связующих;

-исследования свойств углей юга Кыргызстана и процессы терморастворения углей для получения связующих веществ.

-использование гуминовых веществ для получения композитного твердого топлива в качестве связующего угольных отходов;

-механическая и химическая активация глины и его суспензии в качестве связующего для получения композитного топлива из углеотходов КР.

-влияние физико-технических параметров (влажность, температура шихты, дисперсный состав и время и давления сжатия смеси) на технологические процессы получения КТТ;

-экспериментальное определение технологических условий и режимы сжигания КТТ с целью управления процессами горения;

-определение технико-экономических показателей технологии получения КТТ из отходов угледобычи с активированными связующими.

## ГЛАВА 2. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. ХАРАКТЕРИСТИКИ ИСХОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

### 2.1. Методы исследований

Одним из рациональных методов эффективного использования и сохранения угля, в первую очередь, является брикетирование и гранулирование мелочи [86]. Но, к сожалению, как отмечал академик Ж.Т. Текенов, бурые угли Кыргызстана являются плотными и без связующих плохо брикетируются [89]. Для получения качественных брикетов требуются связующие типа нефтяного битума, пека, смолы и др., которые в нашей Республике являются дефицитными. Кроме того, такие брикеты сильно копят, и их цена будет дороже, чем сортовой уголь.

Для достижения поставленных целей в работе нами использованы следующие методы исследований: Технический и химический анализ проб углей исследуемых месторождений проводили по следующими действующими методами; содержание аналитической влаги ( $W^a$ ) по ГОСТ Р52911 -2008. Топливо твердое минеральное. Методы определения общей влаги [114]; золы ( $A^d$ ) по ГОСТ 11022-95. Топливо твердое минеральное. Методы определения зольности [115]; выход летучих веществ ( $V^{daf}$ ) по ГОСТ 6382-2001. Топливо твердое минеральное. Методы определения выхода летучих веществ [119]; общее содержание серы ( $S_{общ}$ ) по ГОСТ 8606-93. Топливо твердое минеральное. Определение общей серы. Метод Эшка [117]; выход битумов ( $B^{daf}$ ) по ГОСТ 10969-91 (ИСО975-85), ИСО 1017-85 [118]; содержание углерода ( $C^{daf}$ ) и водорода ( $H^{daf}$ ) определяли согласно ГОСТ 2408.1-95 (ИСО 625-75) [119], азот ( $N_o^{daf}$ )-по методу Кьелдаля согласно ГОСТ 28743-93 9ИСО 333-96) [120]; определение высшей теплоты сгорания ( $Q^{daf}$ ) и вычисление низшей теплоты сгорания ( $Q_i^{daf}$ ) ГОСТ 147-95 (ИСО 1928-76) [121], выход продуктов полукоксования ( $T_{sk}^{daf}, (sK)^d, W_{sk}, Q_{sk}^{daf}$ ) –ГОСТ 3168-93 (ИСО 647-74) [122].

Результаты анализа угля пересчитывали на различные его состояния в соответствии с ГОСТ 27313-87 (СТСЭВ 750-77)[123].

Выполнение химических анализов по определению качественных характеристик связующего - битума нефтяного регламентируются ГОСТ 11501 «Битумы нефтяные. Метод определения глубины проникания иглы» [124]; ГОСТ 11505 «Битумы нефтяные Метод определения растяжимости» [125]; ГОСТ 11506 «Битумы нефтяные. Метод определения температуры размягчения по кольцу и шару» [126]; ГОСТ 11507 «Битумы нефтяные. Метод определения температуры хрупкости по Фраасу» [127]; ГОСТ 4333-87 «Нефтепродукты. Методы определения температур вспышки и воспламенения в открытом тигле» [128]; ГОСТ 18180-72 «Битумы нефтяные. Метод определения изменения массы после прогрева» [129].

Механическая прочность брикетов определяется по ГОСТ 21289-75 «Брикеты угольные. Методы определения механической прочности» [130]. Определение водопоглощения брикетов осуществляют согласно ГОСТ 21290-75[131].

## **2.2. Основные характеристики исходных материалов**

Исходными материалами для получения КТТ являются: бурые угли, угольные отходы, связующее вещество - битум полученное терморазложением угля, гуматы, лессовидные суглинки, бентонитовая глина и вода.

### **2.2.1. Бурые угли месторождений Кызыл-Булак, Кожо-Келен и Жатан**

Как известно, бурые угли марки БЗ составляют основную часть добываемого угля в Кыргызстане. По свойствам они плотные, средне-метаморфизованные, имеют склонность к самовозгоранию, менее атмосфероустойчивы, плохо переходят в пластическое состояние [3]. Такие

качества несколько снижают теплоэнергетическую ценность этих углей как топлива.

Объектами наших исследований являются низкосортные мелочи, отходы угледобычи месторождений Жатан, Кожо-Келен и Кызыл-Булак.

Фракционный состав угольной мелочи месторождений Жатан, Кожо-Келен и Кызыл-Булак размерами 0-13 мм, получающийся при добыче, показан в таблице 2.1.

Таблица 2.1- Выход класса штыба 0-13 мм при добыче углей месторождений Жатан, Кожо-Келен и Кызыл-Булак.

Месторождение	Выход по классам, %				
	0-1 мм	1-3 мм	3-6 мм	6-13 мм	0-13 мм
Жатан	28, 2	46, 8	10, 4	14,6	100
Кожо-Келен	23, 1	37, 7	21, 3	17, 9	100
Кызыл-Булак	25,3	32,5	23,8	17,4	100

Месторождение «Жатан» - расположено в 30 км. от г.Ош. марка угля БЗ, выход классов 0-13 =85%, более 13 мм =15%. Низшая рабочая теплота сгорания -4200 ккал/кг. Выветрелые угли показывают высокое содержание гуминовых кислот. Запасы для открытой разработки 1,1 млн.т, для подземной отработки 15,4 млн.т всего -16,5 млн.т, угли склонны к самовозгоранию.

Месторождение «Кожо-Келен» - расположено в 70 км. от г. Ош угли условно отнесены к марке БЗ. Низшая рабочая теплота сгорания условно определяется в пределах 3800-4100 ккал/кг. Выход классов 0-13 мм до 70-75% от объема добываемых углей. Запасы по трем участкам месторождения, ориентировочно можно оценить в 200-250 тыс.т. На площади ведется добыча кустарно, открытым и подземным способом несколькими частными предприятиями. Ориентировочная общая годовая добыча составляет менее 10 тыс.т уголь поставляется как бытовое топливо. Угли месторождения

склонны к самовозгоранию. Технологические свойства месторождения не изучены.

Месторождение «Кызыл-Булак» административно принадлежит Алайскому району Ошской области. Технологические свойства месторождения не изучены.

Угли месторождений Кожокелен и Кызыл-Булак относятся к Алайскому угленосному району.

Техническая характеристика исследуемых углей приведена в таблице 2.2. В этой же таблице для сравнения приведена техническая характеристика угля месторождения Кызыл-Кия (как наиболее изученная в технологическом отношении).

Таблица 2.2- Технические характеристики исследуемых углей

Месторождение угля	Выход, % на <sup>daf</sup>			Элементный состав, % на <sup>daf</sup>					$Q_H^{daf}$
	W <sup>a</sup>	A <sup>a</sup>	V <sup>daf</sup>	C <sup>o</sup>	H <sup>o</sup>	N <sup>o</sup>	S <sup>o</sup>	O <sup>o</sup>	МДж/кг (ккал/кг)
Жатан (рядовой)	10,1	14,3	46	72,5	5,3	1,1	2,3	18,8	19,2 (4600)
штыб жатанского угля	11,4	21,5	44	68,4	4,6	0,9	1,8	24,3	16,75 (4000)
Кожо-Келен	8,7	10,4	47	77,5	5,5	1,3	0,6	15,1	21,5 (5150)
штыб кожо-келенского угля	9,1	16,8	43	74,7	4,1	1,3	0,7	19,2	17,58 (4100)
Кызыл-Кыя	10,2	11,7	41,5	76,3	4,9	0,8	1,0	17,0	21,1 (5050)
штыб кызыл-кийского угля	8,6	17,2	39	70,5	4,3	1,2	0,9	23,1	17,58 (4200)
Кызыл-Булак	7,8	9,1	44	78,3	5,1	1,4	0,9	14,3	20,5 (4900)
штыб кызыл-булакского угля	8,5	12,4	47	72,9	3,9	1,1	0,9	21,2	15,07 (4200)

По результатам анализа видно, что уголь месторождения Жатан отличается высокой зольностью 14,3% в рядовом угле и 21,5% в мелочи. Также угольные мелочи отличаются низкой теплотворной способностью по сравнению с рядовым углем. Например, мелочь угля месторождения Кызыл-

Булак имеет низкую теплотворную способность в пределах 3600 ккал/кг, по сравнению с рядовым углем того же месторождения. Также наблюдается изменение в элементном составе, содержание углерода в мелочи снижается в пределах от 3 до 6%. Наблюдается повышение содержания кислорода в составе мелочи в среднем от 4 до 7%.

### **2.3. Получения продуктов из отходов угля методом пиролиза**

Нами проведены работы по изучению технологических свойств исследуемых углей методом термической деструкции (пиролиз).

Термическая деструкция топливного вещества является основой технологии термической переработки и использования топлива.

Пиролиз следует рассматривать как сложный физико-химический процесс, используемый в технике при различной технологической переработке путем нагревания органического сырья, главным образом топлива. Кроме того, пиролиз представляет собой один из методов глубокого изучения веществ. При пиролизе топлива любого фазового состояния (газ, нефть, уголь) может быть в принципе получен продукт также любого фазового состояния (газ, жидкость, твердый остаток).

Результаты пиролиза твердых топлив при медленном нагреве могут быть использованы для их ориентировочной характеристики в целях примерной оценки выхода продуктов термолиза и, следовательно, пригодности топлив к энерготехнологической переработке.

Исследования проводились на научно-экспериментальной установке, блок схема которой представлена на рисунке 2.1.

Реактором служила кварцевая трубка 1 диаметром 20 мм и длиной 300 мм. Обогрев реактора осуществлялся электропечью 2, нагрев которой регулировался лабораторным автотрансформатором 3. Температура замерялась хромель-алюмелевыми термопарами: в электропечи термопарой 4, установленной между внутренней стенкой печи и наружной стенкой

реактора, и в реакторе – термопарой 5. Парогазовая смесь продуктов разложения исследуемых топлив отводилась из реактора по газоотводной трубке 6. Трубка соединялась с конденсатором 7 для сбора жидких продуктов разложения, которой служила колба емкостью 250 мл. Охлаждение колбы осуществлялось путем погружения ее в бачок со льдом. После конденсации газ собирали в газометре 8. Для определения состава газа применяли газоанализатор марки ГХЛ-2.

Отобранное для исследования топливо измельчалось, отбиралась средняя проба для технического и элементного анализов. Подготовленное топливо хранилось в стеклянных или металлических, герметично закрывающихся банках.

Для каждого опыта брали навеску топлива в количестве 100 г, которая предварительно подсушивалась до влажности 3-5 % в лабораторном сушильном шкафу при 105 °С и затем загружалась в реактор. Реактор с топливом герметично закрывался крышкой и устанавливался в печь.

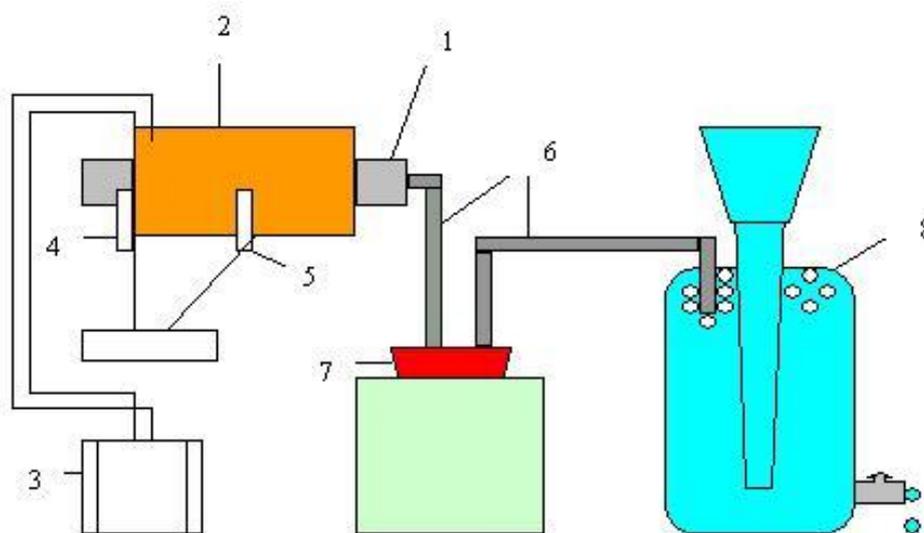


Рис.2.1 - Блок схема научно-экспериментальной установки.

Отводная трубка реактора присоединялась к заранее подготовленной конденсационной системе, которая проверялась на герметичность, после чего включался подогрев электрической печи. Нагревание исследуемого

топлива проводилось путем повышения силы тока в обмотке лабораторного автотрансформатора, при котором обеспечивалась практически постоянная скорость нагрева топлива 2-2,5 °С/ мин. Скорость нагрева топлива в реакторе выбиралась с таким расчетом, чтобы при диаметре реактора 50 мм обеспечить практически равномерный прогрев загруженной пробы по всему сечению реактора. Распределение температур по поперечному сечению загрузки в реакторе было определено расчетом.

При выбранной скорости нагревания 2-2,5 град/мин разность температур между периферийным слоем пробы и ее центром не превышала 45-50 °С.

В период повышения температуры топлива до предельного ее значения газы термического разложения топлива отбирались в один газометр. После достижения заданной режимной температуры опыта она поддерживалась до конца опыта постоянной, а газ переключался на второй газометр. Продолжительность отбора газа в каждый газометр за период опыта с постоянной температурой составляла 60 мин. В течение всего опыта давление в системе поддерживалось выше барометрического на 1-5 мм вод. ст. Это достигалось путем регулирования выпуска воды из газометра.

Разложение исследуемого топлива считалось законченным, когда в газометр поступало газа не больше 100-150 мл/час. После этого обогрев печи выключался, и установка охлаждалась до комнатной температуры. При комнатной температуре давление в установке и в каждом газометре выравнивалось с атмосферным давлением, и проводился замер газа в каждом газометре. Выход жидких продуктов разложения определялся путем взвешивания колбы приемника до опыта и после опыта, а выход твердого остатка - непосредственным взвешиванием.

Из полученных в опыте твердого остатка и газа в каждом газометре отбирались пробы, состав которых анализировался по стандартным методам.

Воспроизводимость опытов и отсутствие влияния понижения температуры вследствие отвода тепла через фланец и крышку реактора, не имеющих греющей обмотки, а лишь изолированных асбестом, была проверена путем проведения трех специальных опытов с углем месторождения Кожо-Келен при температуре 550 °С (таблица 2.5).

Таблица 2.5- Результаты пиролиза твердых топлив (уголь Кожо-Келен)

№ п\п	Вид испытуемого топлива	Масса взятой пробы, г	Твердый остаток, %	Пирогенетическая вода, %	Смола, %	Газ + потери, %
1	Уголь Кожо-Келен	10	83,9	5,2	4,3,	6,6
2	-//-	10	83,4	5,3	4,3	7,0
3	-//-	10	83,7	5,5	4,2	6,6

Для изучения процесса пиролиза были выбраны угли месторождений Жатан, Кожо-Келен, Кызыл–Булак, Кызыл-Кия марки БЗ.

Ниже приводится полная характеристика исследованных углей месторождений Жатан, Кожо-Келен, Кызыл-Булак и Кызыл-Кия (таблицы 2.6, 2.7, 2.8 ).

Таблица 2.6- Физико-химические свойства углей Жатан, Кожо-Келен, Кызыл-Булак и Кызыл-Кия.

Показатели	Жатан	Кожо-Келен	Кызыл-Булак	Кызыл-Кия
Аналитическая влага $W^a$ , %	11,4	9,1	8,5	8,6
Зольность на рабочий уголь $A^p$ %	21,5	14,8	12,4	17,2
Сера общая $S_{об}$ %	2,1	0,6	0,8	-
Выход летучих на горючую массу $V^r$ %	44	43	47	39
Теплотворность $Q_{н^p}$ ккал/кг	4260	4400	4600	4200
Содержание гуминовой кислоты, %	9,43	4,8	-	-

Таблица 2.7- Элементарный анализ углей Жатан, Кожо-Келен, Кызыл-Булак и Кызыл-Кия

Элементный состав на горючую массу в %	Жатан	Кожо-Келен	Кызыл-Булак	Кызыл-Кия
Углерод С <sup>г</sup>	74,5	77,93	72,1	75,75
Водород Н <sup>г</sup>	6,95	5,27	5,5	4,25
Азот N <sup>г</sup>	19,45	17,0	22,40	20,0

Теплотехнические характеристики бурых углей месторождений Жатан и Кожо-Келен при сжигании в слоевой топке.

Таблица 2.8- Теплотехнические характеристики углей Жатан, Кожо-Келен, Кызыл-Булак и Кызыл-Кия

Теплотехнические показатели	Жатан	Кожо-Келен
Напряжение колосниковой решетки тыс. ккал/м <sup>2</sup>	550	680
Напряжение топочного объема тыс. ккал/м <sup>3</sup>	200	240
Испарительность топлива кг/кг	4,4	3,7
То же по нормальн. Пару	4,2	3,6
Выход золы и шлака кг/т	145	95,5
Содержание углерода в шлаке %	16,3	12,1
Содержание золы в шлаке %	101,5	85,6
Выход уноса, кг/т	54,5	46,2
Содержание углерода в уносе, %	18	14
Содержание золы в уносе	82	86

### 2.3.1. Определение оптимальных параметров выхода продуктов в процессе пиролиза.

По выше описанной методике были проведены опыты по пиролизу углей. Результаты опытов приведены в таблице 2.9.

Таблица 2.9- Результаты исследований выхода продуктов пиролиза углей месторождений Жатан, Кожо-Келен, Кызыл-Булак и Кызыл-Кия

№	Месторождения угля	Выход продуктов пиролиза, в %			
		Твердый остаток	Смола	Пирогенетическая вода	Газ, потери
1	Жатан	77,5	3,3	5,8	13,4
2	Кожо-Келен	78	4,1	5,1	11,8

3	Кызыл-Кыя	76,7	4,2	6,3	12,8
4	Кызыл-Булак	79,1	4,8	9,2	6,7

Как видно из таблицы, уголь месторождения Жатан по зольности является многозольным 21,5 %, по результатам пиролиза выход газа больше 13,4 %, по сравнению с другими месторождениями угля. Самой низкой теплотворностью обладает уголь месторождения Кызыл-Булак - 3600 ккал/кг, но по выходу летучих газов (47 %) он превосходит остальные месторождения. Наблюдается и низкое содержание негорючих остатков зольность 12,4 %. Уголь месторождения Кызыл-Кия при пиролизе выделяет до 13 % газа, выход твердого остатка намного выше по сравнению с другими углями.

На рисунках 2.2 и 2.3 показано содержание углерода в твердых остатках полученных при различных температурах и различных скоростях нагрева Жатанского и Кожо-Келенского угля в весовых процентах.

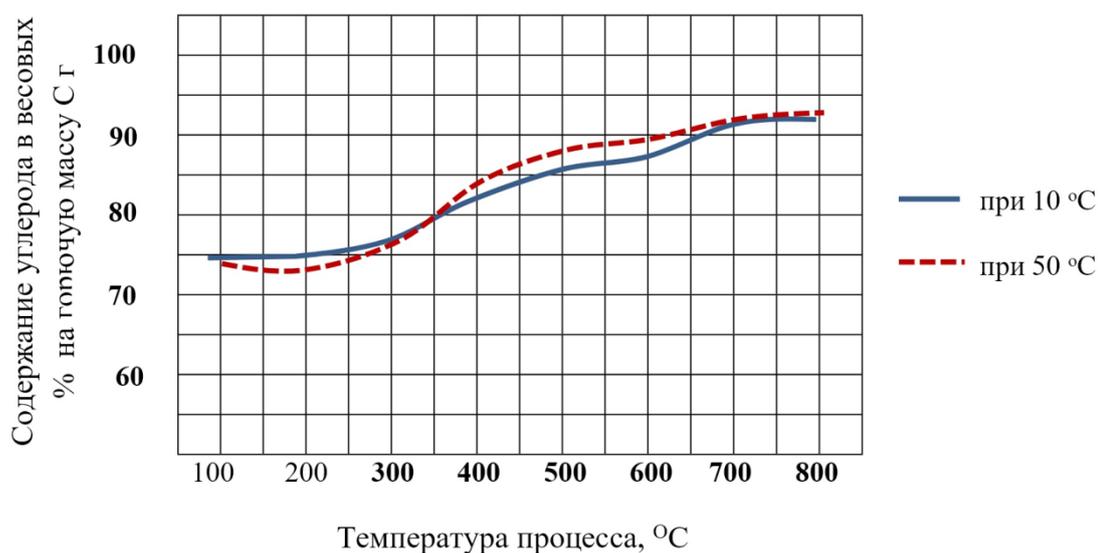


Рисунок 2.2 - Содержание углерода в твердых остатках полученных при различных скоростях нагрева Жатанского угля в весовых процентах

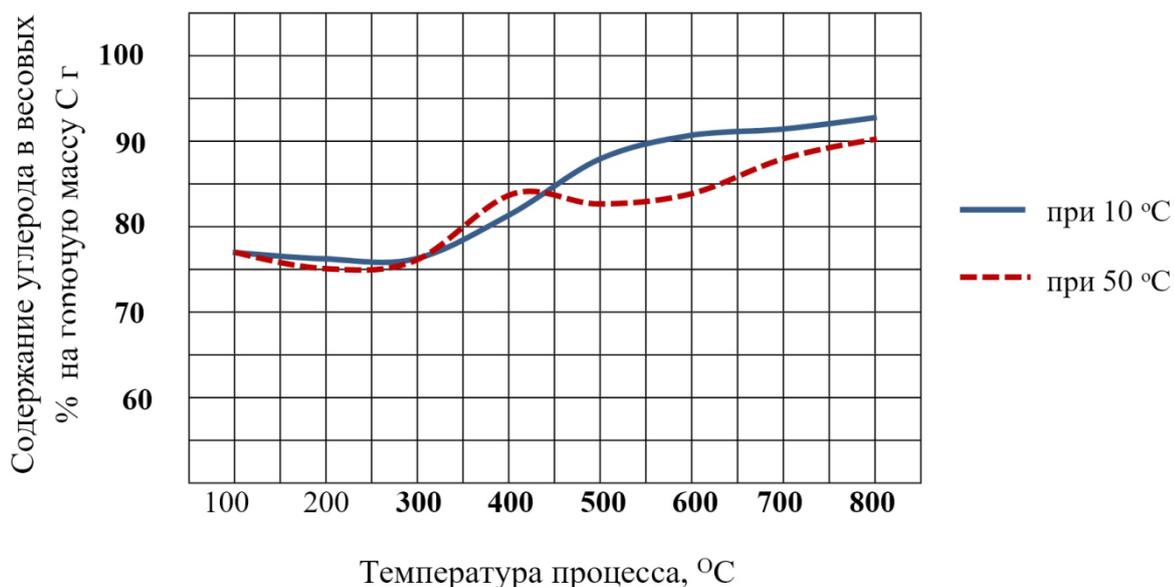


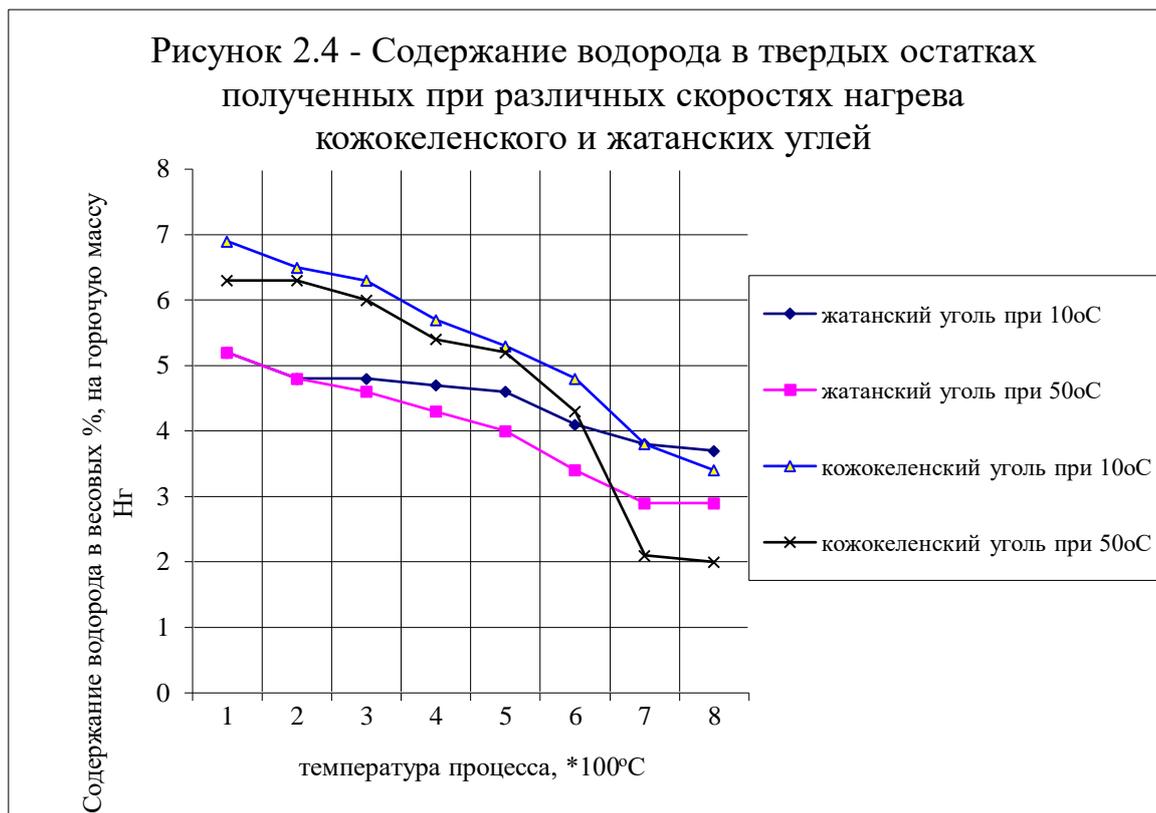
Рисунок 2.3 - Содержание углерода в твердых остатках полученных при различных скоростях нагрева Кожо-Келенского угля в весовых процентах

Результаты определения содержания водорода в полученных твердых остатках при скоростях нагрева 10°C и 50°C, углей месторождений Жатан и Кожо-Келен приведены в рисунке 2.4.

Из данных этих рисунков видно быстрое повышение содержания углерода и уменьшение водорода в твердом остатке. Это явление соответствует быстрому переходу компонентов в летучие продукты. В основном разложение горючей массы топлива происходит в интервале температур 400 –600 °C.

Аналогичный выход продуктов пиролиза по месторождению угля Кызыл-Кия приведен в работе [132], что свидетельствует о том, что использованная нами методика вполне сопоставима с другими проводимыми работами.

Были установлены зависимости выхода газообразного продукта от температуры процесса пиролиза.



Процесс пиролиза проводился в температурном режиме от 100 °С до 800 °С. С повышением температуры процесса выход газа растет. Результаты приведены в таблице 2.10.

Таблица 2.10 - Зависимость выхода газообразного продукта от температуры процесса пиролиза

№ п/п	Месторождение испытуемого угля	Температура процесса °С							
		100	200	300	400	500	600	700	800
		Выход газа в %							
1	Жатан	2,7	5,5	7,4	10,6	13,2	14,6	15,3	16,5
2	Кожо-Келен	2,1	4,8	7,0	8,7	11,5	14,2	16,6	19,1
3	Кызыл-Кия	1,2	5,6	8,1	9,3	12,8	13,6	14,3	16,4
4	Кызыл-Булак	1,1	2,7	3,3	4,8	6,4	7,7	8,1	8,6

Выход газообразного продукта зависит от температуры процесса пиролиза. Исследование пиролиза в интервале 100 °С до 800 °С показал, что с повышением температуры выход газа возрастает. Газ полученный при температуре до 400 °С не горит, а подогрев выделяющегося газа способствует его горению. Газ полученный свыше 400 °С горит без

предварительного подогрева прямо от пламени спички. На рисунке 2.5 показана зависимость выхода газа от температуры.

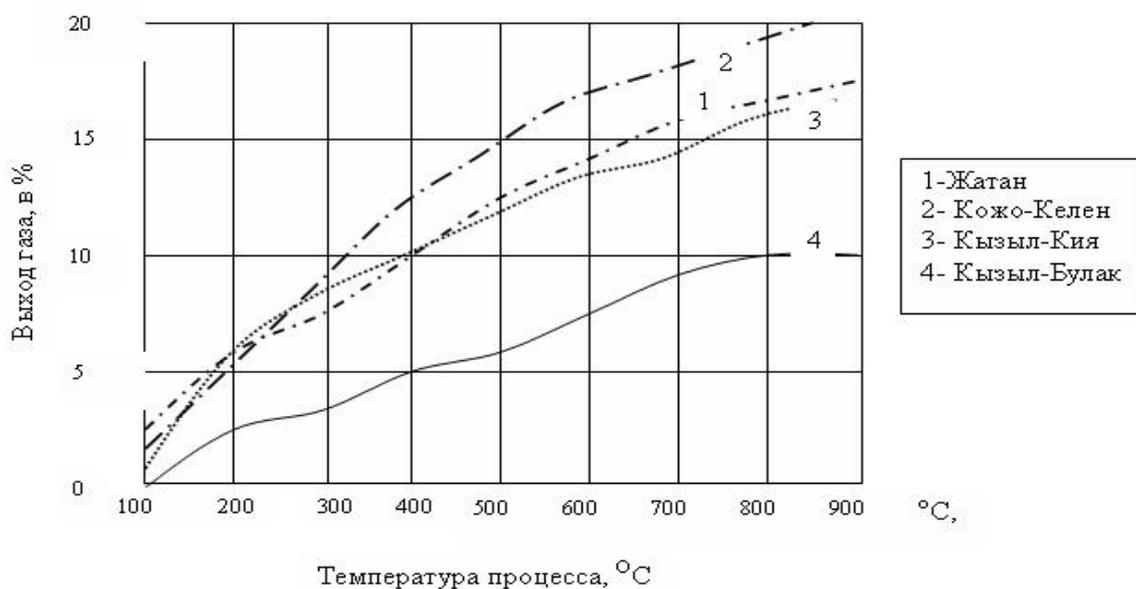


Рисунок 2.5 - Зависимость выхода газа от температуры.

Первичная смола, образующаяся в процессе термического разложения углей, из-за низкого выхода (до 4,8 %) не подвергалась дальнейшему анализу по определению группового химического состава. Газ, образующийся в процессе пиролиза Кожо-Келенского и Жатанского углей низкого качества (таблице 2.11).

Таблица 2.11- Газ, образующийся в процессе пиролиза Кожо-Келенского и Жатанского углей

Месторождения	CO <sub>2</sub> +H <sub>2</sub> O	C <sub>n</sub> H <sub>m</sub>	CO	H <sub>2</sub>	C <sub>n</sub> H <sub>2n+2</sub>	N <sub>2</sub>	Низшая теплота сгорания МДж/кг
Кожо-Келен	44,06	4,35	12,90	8,65	26,4	7,9	16,567
Жатан	40,93	1,65	9,52	7,14	20,60	6,8	15,945
Кызыл-Кия	46,06	2,84	11,70	7,51	25,89	7,5	16,920

Таким образом, выяснено, что в результате залеживания на открытом воздухе на сортировочных и перевалочных пунктах низкосортные мелочи и

отходы углей месторождений Кожокелен, Кызыл-Булак и Жатан, подвергаются к различным физическим воздействиям, в последствии по выходу первичной смолы и составу образующегося газа становятся малопригодными для переработки в химические продукты. Поэтому угли могут быть использованы только для получения тепловой энергии в процессе прямого сжигания. При этом следует учитывать то обстоятельство, что большинство имеющиеся в республике топочные устройства по сжиганию твердого вида топлива являются слоевого типа сжигания.

#### **2.4. Получение битума методом терморастворения угля с нефтяным остатком.**

Термическое растворение (рафинирующая гидрогенизация) является одним из способов получения жидких продуктов из твердых горючих ископаемых: углей, горючих сланцев и др. Процесс термического растворения осуществляют в присутствии растворителя – донора водорода при давлении 0-10 МПа, температуре 380-460°C, с объемной скоростью подачи сырья от 0,5 до 3 ч.

Известно, что мазут и тяжелые нефтяные остатки содержат ароматические и гидроароматические фрагменты, которые с одной стороны обеспечивают совместимость нефтепродукта с углем, с другой стороны являются донорами водорода. При термическом растворении угля, происходит перераспределение водорода между угольным веществом и нефтяными продуктами. Деструкция угольного вещества сопровождается отщеплением парафинов и их распадом с образованием насыщенных углеводородов с меньшим молекулярным весом.

В работе[133]анализированы и систематизированы материалы о современном состоянии терморастворения угля.

Принципиальное различие в химическом составе угля и нефти заключается в разном соотношении водород/углерод (составляет около 0,7

для углей и порядка 1,2 для нефти). Присоединяя к углю дополнительное количество водорода, можно получить "синтетическую нефть" [134].

Возможно осуществление низкотемпературная гидрогенизация угля при атмосферном давлении. Такой метод более безопасный, но скорость протекания реакции занимает больше времени. Увеличение скорости протекания реакции возможно при оказании на уголь вибрационного воздействия. Исследования по экстракции угля при атмосферном давлении с различными растворителями провел Б.Н. Кузнецов [135].

К достоинствам процессов термического растворения следует отнести более низкую, чем при пиролизе углей, рабочую температуру и возможность варьирования в относительно широких пределах качества получаемого жидкого продукта за счет изменения параметров процесса. Вместе с тем при термическом растворении глубокое превращение угля достигается при высоком давлении процесса и в составе получаемых продуктов преобладают высокомолекулярные соединения – битумы. Присутствие последних вызвано тем, что уже при невысоких температурах начинают протекать процессы рекомбинации образующихся свободных радикалов, сопровождающиеся формированием вторичных структур ароматического характера, менее реакционно-способных, чем исходное органическое вещество угля. Наличие в реакционной смеси доноров водорода и растворенного в пасте молекулярного водорода не может в достаточной степени препятствовать протеканию этих процессов. При промышленной реализации этого метода возникает ряд трудностей. Сложной технической проблемой является отделение непрореагировавшего угля и золы от жидких продуктов. Получаемый целевой продукт в условиях процесса жидкий, а в нормальных условиях может быть полутвердым и даже твердым веществом.

На принципе термического растворения углей основано производство углемасляных пеков [136], используемых в качестве связующего при брикетировании углей и в дорожном строительстве. Над

получением углемасляных пеков работали многие исследователи. Опыты велись как в лабораторных, так и в промышленных условиях. В качестве растворителей могут быть использованы продукты переработки каменноугольной смолы. Ориентировочная температура процесса 350°С.

Углемасляные пеки, получаемые растворением углей в пековой или каменноугольной смолах, по физическим свойствам не отличаются от обычных каменноугольных пеков. При постоянном технологическом режиме растворения выход углемасляного пека в основном зависит от характера растворителя и качества угля и составляет 70—97% от количества сырья. Углемасляные пеки дали положительные результаты при использовании их в дорожном строительстве.

Особый интерес представляет использование получаемых таким методом битумов в качестве связующих для брикетирования угольных отходов и мелочей. В этом случае нет необходимости выделять твердый остаток из образующихся битумов, а это существенно упрощает технологический процесс и снижает себестоимость получаемых продуктов.

#### ***Методика проведения низкотемпературной гидрогенизации угля при атмосферном давлении.***

Для эксперимента были выбраны угли месторождений Кожо-Келен, Жатан и Кызыл-Булак.

Мазут является донором водорода, а в качестве катализатора нами выбрана оксид железа ( $F_2O_3$ ).

Подготовка угля. Уголь предварительно измельчают до размера 0,1-0,01мм в мельнице в целях увеличения поверхности реагирования.

Подготовка мазута. нагревают мазут до получения вязкотекучей жидкости, это примерно 90-100°С. При комнатной температуре обычно мазут бывает твердым, поэтому для улучшения подготовки смеси его предварительно нагревают.

Подготовка смеси. Навеска угля в количестве 100г смешивают с 300г мазута и добавляют 2г оксида железа. Смесь аккуратно перемешивают, затем переносят в реактор. Добавляют несколько штук металлических шариков, диаметром 10мм в смесь. Крышку ректора закрывают, соединяют шланги для отвода газа и пирогенетической воды с газосборником. Металлические шарики играют роль теплопроводника внутри смеси и для улучшения перемешивания смеси внутри реактора.

В процессе терморастворения реактор периодически вращается и за счет этого улучшается нагрев и перемешивание. Реактор помещают в специальный печь и в течение 60 минут температуру доводят до 320 -380°C. При такой температуре нагрева реактор держать 1-1,5 часа. Содержимое реактора перемешивают каждый 10 минут. Затем реактор вынимают с печи, разъединяют соединительные шланги и выливают содержимое реактора в посуду. При температуре 320-380 °С смесь получается вязким и текучим, а при охлаждении становится твердым. Смесь охлаждают до комнатной температуры и получают массу терморастворенного угля. Блок схема установки показанна рисунке 2.6.

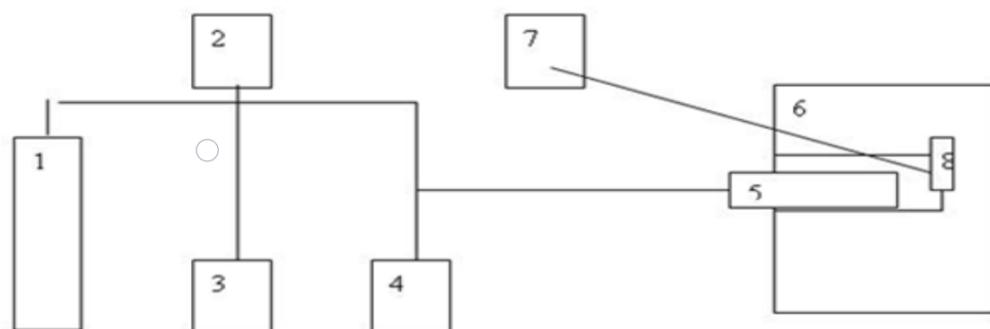


Рисунок 2.6 – Блок схема установки для терморастворения угля.

1-Баллон углекислого газа, 2-Манометр, 3-Редуктор, 4-Рессивер, 5-Реактор, 6-Печь для нагрева, 7-Терморегулятор, 8-Термопара

***Определение оптимальных параметров получения битума из угольных отходов.***

Как сказано выше метод осуществление низкотемпературной терморастворения угля при атмосферном давлении более безопасный, но скорость протекания реакции занимает больше времени. Увеличение скорости протекания реакции представляется возможным при оказании на уголь вибрационного воздействия или интенсивного перемешивания смеси.

Нами исследованы влияния температуры, времени реагирования и массы катализатора на выход продуктов и на качество получаемого битума в процессе терморастворения углей. Угли месторождений Кожо-Келен, Кызыл-Булак и Жатан подвергли терморастворению с мазутом согласно вышеописанной методики. Для определения оптимальной температуры процесса терморастворения при обычной атмосфере, температура испытания задана от 320 до 420°C. Полученный продукт при этих температурных интервалах подвергали к перегонке, для отделения светлых фракций кипящих до 200°C и до 350°C.

Результаты исследований показаны ниже в таблицах 2.12.

Таблица 2.12- Влияние температуры на выход терморастворенного угля.

смесь	Температура, °С	Выход продуктов (массовая доля), %			
		Газ	Фракция, кипящая		Остаток дистилляции
			до 200 °С*	200—350 °С	
Кожо-Келен	320	14,7	2,9	3,4	79,0
	340	15,5	3,2	3,6	77,7
	360	20,0	3,8	4,9	71,3
	380	20,3	3,5	5,3	70,9
	400	20,8	3,3	6,2	69,7
	420	23,4	3,1	4,6	68,9
Кызыл-Булак	320	12,4	3,3	5,5	78,7
	340	13,1	3,4	5,5	78,0
	360	14,8	3,8	5,8	75,6
	380	17,5	4,2	5,4	72,9
	400	19,4	3,8	5,3	71,5
	420	20,6	3,2	4,3	71,9
Жатан	320	13,7	3,4	4,6	78,3
	340	14,6	3,7	5,2	76,5

	360	16,1	4,3	5,8	73,8
	380	17,5	4,6	4,5	73,4
	400	18,9	4,9	4,2	72,0
	420	20,4	4,4	4,3	70,9

В таблице 2.12 приведены результаты влияния температуры терморастворения угля на выхода продуктов, образующихся в процессе термической обработки в среде водяного пара высококипящих фракций.

Видно, что с повышением температуры процесса наблюдается рост массовых долей выхода газа (Кожо-Келен, Кызыл-Булак и Жатан). Выход фракций кипящих до температуры 200 °С, увеличивается до температуры 360-380°С, фракций до температуры 350°С также увеличивается до температуры 360-380 °С, затем идет снижение. Основным продуктом превращения является остаток дистилляции, выход которого в выбранном интервале температур процесса изменяется от 79,0 до 68,9 % (Кожо-Келен), от 78,7 до 71,9% (Кызыл-Булак), от 78,3 до 70,9% (Жатан).

Результаты исследований показали, что с увеличением температуры реакции идет интенсификация превращения смол в асфальтены, что приводит к резкому увеличению вязкости продуктов, но снижает их эластичности. Температура 380°С считается оптимальным для этого процесса, так как при этих условиях заметны максимальное значение растяжимости продукта, характеризующее когезионную прочность битума.

Таблица 2.13- Влияние температуры процесса терморастворения угля на характеристики образующихся битумов

Температура процесса, °С	Глубина проникания иглы, 0.1 мм, при 25°С	Растяжимость при 25°С, см	Состав битумов (массовая доля), %		
			Асфальтены	Смолы	Масла
350	250	50	12	25	63
380	170	66	20	31	49
400	150	60	22	30	48
440	87	45	45	20	35

Сопоставление полученных результатов с требованием ГОСТ для нефтяных битумов показывает, что наилучшими показателями обладают продукты, полученные в интервале температур 380-400 °С.

Таблица 2.14- Влияние времени реагирования на выход терморастворенного угля.

Смесь	Время, мин.	Выход продуктов (массовая доля), %			
		Газ	Фракция, кипящая		Остаток дистилляции
			до 200 °С*	200—350 °С	
Кожо-Келен	30	14,1	3,1	5,5	77,7
	60	20,0	4,7	6,3	69,0
	90	20,3	4,5	6,5	68,8
	120	21,8	3,5	6,2	68,5
Кызыл-Булак	30	11,4	3,8	6,1	78,7
	60	16,2	5,3	6,6	71,9
	90	18,7	5,5	6,8	70,0
	120	18,9	5,3	6,5	69,3
Жатан	30	13,3	2,7	4,2	79,8
	60	15,2	3,8	5,3	75,8
	90	18,4	4,5	5,7	71,4
	120	18,5	4,7	5,2	71,6

В таблице 2.14 приведены результаты влияния времени реагирования на выход терморастворенного угля. Видно, что оптимальным временем терморастворения для всех исследуемых углей является 60-90 минут.

Таблица 2.15- Влияние массы катализатора на выход терморастворенного угля.

Смесь	Массовая доля катализатора, %	Выход продуктов (массовая доля), %			
		Газ	Фракция, кипящая		Остаток дистилляции
			до 200 °С*	200—350 °С	
Кожо-Келен	0-1	11,4	2,3	3,1	83,2
	1-2	20,0	4,7	6,3	69,0

	2-3	20,2	4,4	6,3	69,1
Кызыл-Булак	0-1	10,6	3,1	3,6	82,7
	1-2	16,2	5,3	6,6	71,9
	2-3	16,5	5,5	6,9	72,1
Жатан	0-1	10,6	2,2	2,5	84,7
	1-2	15,2	3,8	5,3	75,8
	2-3	16,2	3,6	5,5	74,7

В таблице 2.15 приведены результаты влияния массы катализатора на выход продукта терморастворения углей месторождений Кожо-Келен, Кызыл-Булак и Жатан. Видно, что выход продуктов терморастворения с применением катализатора до 2% в составе шихты с исследуемыми углями считается оптимальным, так как дальнейшее увеличение доли катализатора не дали ощутимого эффекта.

#### **2.4.1. Испытание полученного битума как связующего материала**

Для брикетирования использовали штыб марки БСШ класса 0–13 мм месторождения Кызыл-Булак с содержанием серы менее 1 %.

В качестве основы органического связующего служил битум полученный терморастворением угля в условиях лаборатории института природных ресурсов имени А.С.Джаманбаева [137]. Эти битумы обладают связующей способностью, а также водостойкостью.

В традиционной технологии брикетирования угля требуется сушка бурого угля до аналитической влажности 6–8 %. Подготовили угольные пробы следующей фракции: 0-1мм –40%, 1-3мм –30%, 3-6мм –20% и 6-13мм –10% и тщательно смешивали.

Перемешивание предварительно нагретого битума при температуре 150-200°C с углем проводили в течение 5–6 мин. Содержание связующего составляло 6–12 % от массы угольной шихты. Затем добавляли предварительно подготовленную глиняную массу. Содержание глины составляло также 6-12%. В момент добавления глины температура угольной

шихты с битумом составляло 70-80°C. При такой температуре битум сохраняет свои связующие способности. Прессование подготовленной шихты осуществляли на ручном прессе при удельном давлении от 5 до 15 МПа.

Отформованные брикеты подвергались термообработке в лабораторном сушильном шкафу при 50 °С. Время тепловой обработки брикетов: 30, 60 и 90 мин.

Полученные брикеты испытывались на сбрасывание, водоустойчивость брикетов оценивалась по ГОСТ 21290-75[130,131].

## **2.5. Глины. Характеристика неорганического связующего вещества**

Глины основы которых составляют окиси кремния (минерал монтмориллонит), называют бентонитовыми. Они образуют наиболее устойчивые глинистые растворы. В природе таких глин мало.

Как известно в последние годы угли в КР в основном производится прогрессивным открытым способом. При проведении вскрышных работ вместе с породой наверх попутно поднимаются полезные минерально-сырьевые ресурсы, в том числе бентонитоподобные глины.

Как показывает практика, рядом с угледобывающими предприятиями расположены крупные запасы нерудных минерально-сырьевых ресурсов. Например, почти примыкает к разрезу Жатан крупнейшее в нашей республике Ноокатское месторождение бентонитоподобных глин.

Ноокатское месторождение бентонитоподобных глин состоит из трех участков: Восточный, Центральный, и Западный. По степени разведенности наиболее изучен центральный участок, где общие запасы глин по категориям А+В+С, составляют 7.0 млн м<sup>3</sup> [138,139].

Установлено, что преобладающим глинистым минералом в Ноокатской глине являются гидрослюда и монтмориллонит [140] . Глина имеет светло-

зеленоватую окраску, текстура плотная, с соляной кислотой реагирует слабо [141].

Также глины Ноокатского месторождения обладают более устойчивостью промывочного раствора [142] и пригодны для приготовления более устойчивых промывочных растворов при глубоком бурении на нефть и газ.

Проведены работы по изучению и использованию ноокатской глины в качестве пластифицирующей добавки местным лессовидным суглинкам [143] и в качестве добавки при брикетировании углей КР. Оно является хорошей пластифицирующей добавкой и одновременно повышает прочность и термоустойчивость брикетов. Данная технология с успехом использовались для брикетирования углей в работах академика Текенов Ж. и др. сотрудников [89,91,93].

Таким образом, из выше приведенных работах приведены сведения о принципиальной возможности использования бентонитоподобных глин для практических применений в качестве: как сырья для приготовления глинопорошков: как добавки для повышения пластических свойств глин из лессовидных суглинков, как связующее добавки для брикетирования мелочи углей. Исходя, из этого можно сделать заключение что, использование попутнодобываемых бентонитоподобных глин угледобычи, а также бентонитоподобные глины Ноокатского месторождения является актуальным. Необходимо только разработать конкретные технологии использования бентонитоподобных глин с учета практической необходимости.

Главными химическими компонентами глинистых пород являются  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , в подчиненных количествах присутствуют  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  /окись/,  $\text{FeO}$  /закись/,  $\text{MnO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{SO}_3$  и органические вещества.

Имеются стандарты для отдельных разновидностей глин и некоторых разрабатываемых месторождений, как, например, РСТ РСФСР 303–82

«Глина гончарная», ГОСТ 7032–75 «Глина бентонитовая для тонкой и строительной керамики».

Глины многих месторождений (Кызылкия, Сулюкта, Маркай, Жатан, Ташкумыр и др.) пригодны как заиловочный материал в буровом деле. Растворы, приготовленные из глин при соотношениях  $T_{вф} : Ж_{ф} = 1 : 1,2 - 1,3$  ( $T_{вф}$ - твердая фаза,  $Ж_{ф}$ - жидкая фаза) без каких либо примесей имеют удельный вес 1,1- 1,20 г/см<sup>3</sup>, вязкость таких растворов 15- 35 секунд. Величина суточного отстоя достигает максимум 40%, а толщина корки отстоя до 5 мм. Если учесть большие запасы глины угольных месторождений различных угленосных бассейнов региона, они могут полностью обеспечить потребность в них народного хозяйства республики на многие десятилетия.

Лессовидные суглинки имеют широкое площадное распространение в регионе, где все месторождения по возрасту являются четвертичными и приурочены, в основном, к пониженным участкам с более или менее выровненным рельефом. Мощность лессовидных суглинков на месторождениях различная - от нескольких метров до нескольких десятков метров. В районах угольных месторождений содержание органических веществ в лессовидных суглинках колеблется в широких пределах, но не превышают 5-7%. Запасы данного сырья на месторождениях неограниченные.

Гранулометрический состав этих образований обеспечивает их пластичность, чаще всего второго (0,01-0,1мм, 24-55%) и третьего (0,1-1,0мм, 0,4-14,5%) классов. Число пластичности (по Аттенбергу) обычно колеблется в пределах от 4,0 до 15,0, объемный вес 1,15-1,78; водозатворяемость 20,0-23,7%, температура плавления 1100-1200°, воздушная усадка изделий 3,6-8,5%, огневая усадка изделий при обжиге 1,0- 1,1%, скорость размокания в воде от 10 до 15 минут.

Лессовидные суглинки, как и глины почти всех месторождений бассейна, за редким исключением, могут быть использованы как сырье для

изготовления кирпича, черепицы, в качестве глинистого компонента для цементного производства и как материал для буровых растворов.

В мировой практике к бентонитовым глинам принято относить тонкодисперсные глины, состоящие не менее чем на 70% из минералов группы смектита (монтмориллонита, бейделита, нонтронита, сапонита и гекторита), которые обладают высокой связующей способностью, термической устойчивостью, а также адсорбционной активностью.

Специфика химического состава и строение определяет высокую поглощательную способность бентонитовых глин. Бентонитовые глины активно поглощают воду, ионы солей, органические молекулы, тем самым, обуславливая широкие возможности их практического применения [144-146].

Рассматривая структуру монтмориллонита, по данным работы можно заключить, что он представляет собой трёхслойный (2:1) пакет (рисунок 2.7): два слоя кремнекислородных тетраэдров, обращённые вершинами друг к другу, с двух сторон покрывают слой алюмогидроксильных октаэдров [146].

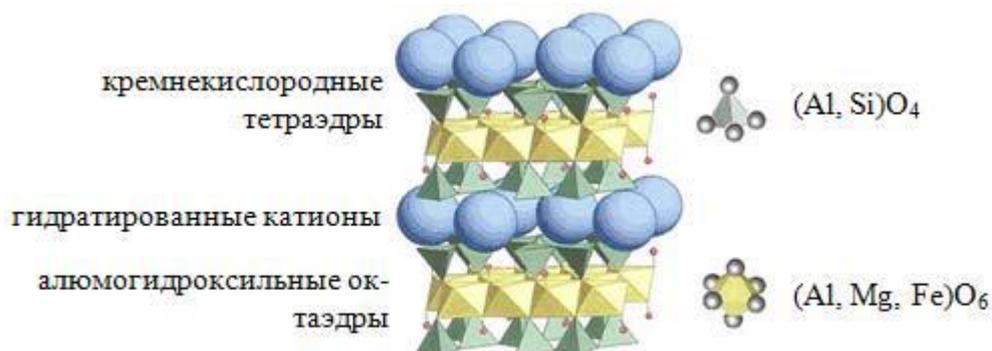


Рис. 2.7 – Структура монтмориллонита

Структура монтмориллонита и механизм замещения катионов и анионов более понятно описаны в работе [149].

### 2.5.1. Модифицирование (активация) неорганических связующих веществ

Основным процессом при активации глины является замена в глинистой составляющей двухвалентных ионов кальция и магния на одновалентный ион щелочного металла. Образующийся в ходе ионного

обмена карбонат кальция (магния) может образовывать неорганические отложения, которые осаждаются из водных композиций этих активированных бентонитов [147-150].

Как известно, процесс активации монтмориллонита можно производить различными методами. Наиболее широко распространены три метода: "мокрый", "сухой" и метод активации в суспензии.

При "мокрой" активации готовят пасту из бентонита, воды и заданного количества соды, высушивают смесь и затем ее измельчают. При этом получают активированный бентонит и осадок из нерастворимых и слаборастворимых солей типа  $\text{CaCO}_3$  и  $\text{MgCO}_3$ . "Сухую" активацию осуществляют путем механического перемешивания соды с бентонитом в определенной пропорции. Активация в этом случае происходит за счет естественной влажности самого бентонита.

Метод активации в суспензии заключается в роспуске глины в шаровой мельнице с водой и содой. Для активации использовался раствор соды. Активация осуществлялась по следующей реакции:  $\text{Na, Ca, Mg бентонит} + \text{Na}_2\text{CO}_3 (\text{раствор}) = \text{Na бентонит} + \text{Ca, Mg (раствор)}$ . Количество Ca и Mg, перешедших в раствор, определялось химическим путем. При 2%ной концентрации содой замещается примерно 75% от суммы обменных катионов. В результате проведенных опытов установлено, что при низкой концентрации соды (0,1%) замещение происходит не полностью. Избыток соды в растворе (концентрация 2-5%) отрицательно влияет на процесс замещения катионов кальция натриевыми катионами [154].

Связующая способность низкосортных глин может быть повышена путем химической активации. Активация глин основана на изменении их электрокинетического потенциала, замене в диффузном слое глинистой частицы ионов  $\text{Ca}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$  одновалентным ионом  $\text{Na}^+$ . В результате такой замены увеличивается электрокинетический потенциал глин, как следствие, возрастает толщина гидратной оболочки глинистых частиц,

обработанных солями натрия, что приводит к разрыву связей между ними. В результате ионной пептизации дисперсность глин увеличивается, повышается их коллоидальность, а следовательно, и связующая способность. Чем больше в обменном комплексе глин катионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$ , тем меньше их коллоидальность и связующая способность [151].

В наших исследованиях глины сначала растворяют в воде и в виде суспензии добавляют к углям. Глинистые суспензии являются более активными и обладают связующими свойствами. Подготовка водного раствора глины, особенно бентонитовых глин требует определенного времени и физических усилий. Обычно для набухания бентонитовой глины требуется 3-5 часов, затем после интенсивного перемешивания можно получить готовую суспензию. Поэтому для ускорения процесса подготовки суспензии нами исследованы процессы его модифицирования путем механической и химической активации.

Улучшение качества формовочных глин может быть достигнуто путем ввода диспергаторов при перемешивании в виде 1-2%-го водного раствора  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  или  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ . Для получения глинистой суспензии с плотностью 1,7—1,8 г/см<sup>3</sup> достаточно 1—1,5%  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  или 0,4—1,5%  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ . Содержание глины в таких суспензиях 60—70%. Нижний предел рекомендуется при вводе избыточной влаги для более низкой концентрации раствора диспергатора. Указанные диспергаторы позволяют повысить свойства глинистых суспензий, также качества окускованных топлив.

### **2.5.2. Испытание механохимически активированной глины как связующее вещество**

Определены оптимальные условия активации бентонита Ноокатского месторождения с солями натрия.

После обработки щелочноземельных бентонитов карбонатом натрия в различных условиях были определены физико-химические характеристики,

как коллоидальность материала и его способность к набуханию. Реагент добавляли в количестве 1; 2, 3 и 5% от общей массы навески. Коллоидальность и его способность к набуханию являются определяющими при использовании бентонитов в промышленности. Эффективность ионного обмена оценивалась по количеству обменных катионов кальция и магния в минерале после активации.

Катионы щелочноземельных металлов (общая жесткость) в обменном комплексе исходного бентонита составляло 40-70 мг·экв/100 г. После обработки карбонатом натрия, т.е. после активации концентрация обменных катионов кальция и магния значительно снижается, что может свидетельствовать о прошедшем ионном обмене. Максимальный эффект замещения наблюдается при 2-3%-ной добавке реагента.

#### **Гуминовые кислоты, как связующее вещество**

Решение проблем брикетирования и гранулирования мелочей углей Кыргызстана связаны с изысканием новых видов связующих веществ, более дешевых, недефицитных и качественных. В этом отношении перспективным является метод брикетирования с солями гуминовых кислот (гуматами) [152]. Связующие вещества подобного типа недефицитны, так как представляют собой субстанцию самого угля, переведенного в клеящее вещество путем его тонкого измельчения в щелочной среде.

Возможность применения водных растворов гуматов натрия в качестве связующих веществ при брикетировании полукокса, полученного из Сулюктинского угля, показана в работе Березкиной З.А. [153]. Связующее вещество - гумат натрия тоже был получен из того же самого Сулюктинского угля.

В работе Джаманбаева А.С. с сотр. [86] проводилось брикетирование с помощью гуматов натрия углей месторождения Кызыл-Кия и Сулюкта. Прочность брикетов колебалась от 1,1 до 3,0 МПа после сушки. Полученные

брикеты не были водо- и термоустойчивыми. После термообработки без доступа воздуха до 500 °С они становились термо и водоустойчивыми.

Для повышения качественных характеристик брикетов Джаманбаевым А. С. с сотр. [86], аналогично Березкиной З. А., наряду с гуматами натрия были добавлены бентонитовые глины, мазутные эмульсии (мазут и известковая вода).

Более обстоятельную работу по использованию гуматов как связующего при брикетировании углей Средней Азии (в том числе углей Киргизии) провел Гумаров Р.Х. [154-156].

Свойства гуминовых кислот, выделенных из углей месторождений Кызыл-Кия были изучены Р.Х. Гумаровым с целью получения из них полярных связующих для брикетов каменноугольной мелочи [156].

Гумаровым Р.Х. и другими исследователями [154-156] установлено, что при брикетировании бурых и сильно окисленных каменных углей под давлением 2000 кг/см<sup>3</sup> концевые функциональные кислородосодержащие группы участвуют в образовании межмолекулярных полярных (в том числе водородных) связей между угольными крупинками.

Таким образом, подытоживая вышеприведенные данные, можно сказать следующее. Гуматы окисленных углей являются дешевым и доступным связующим компонентом при процессе брикетирования углей.

Джаманбаев А.С., Текенов Ж.Т. [88,89] и др. в своих исследованиях использовали либо гумат натрия, либо гумат аммония. Исследований с применением различных типов гуматов для брикетирования мелочей угля в Кыргызстане не проводилось. Кроме того, определения прочностных характеристик брикетов были проведены только одним методом. На наш взгляд, для определения прочностных характеристик брикетов из мелочи угля применение нескольких независимых методов позволит повысить достоверность полученных результатов. Кроме того, такой подход даст

возможность определить влияние на прочность связующих различной природы.

## **2.6. Методика приготовления смесей и описание лабораторной установки для их брикетирования**

Во всех известных классических технологиях в процессе окускования отходы угля проходят стадию дробления и измельчения, затем с помощью сеток сепарируют по величине частицы на определенные группы.

В наших исследованиях в условиях лаборатории были подготовлены четыре группы угольных мелочей по величине частиц. Первую группу составляли частицы размерами 0-3 мм, вторую 0-6 мм, третью 0-10 мм и четвертую 0-13 мм.

Как показали результаты ситового анализа, в угольной мелочи преобладают частицы первой и второй группы.

Анализ литературных источников и результаты проведенных экспериментов показывают, что наибольшей брикетируемостью обладают частицы угля первой группы, что объясняется большей поверхностью соприкосновения частиц при прессовании, следовательно, большей величиной сил адгезии и когезии между частицами угля и связующего [86].

Учитывая ситовый анализ исследуемых нами угольных мелочей и отходов, дальнейшие экспериментальные исследования проводились в основном угольной мелочью первой и второй группы размерами частиц 0-3 мм и 0-6 мм.

Известно, что механические свойства (прочность) получаемых топлив зависят от пластичности связующего и способа его добавления в шихту.

В наших исследованиях в качестве связующих веществ использовали битум полученный путем терморастворения угля с нефтяным остатком, а также местные глины бентонитовые и лессовые суглинки в растворенном виде и гуматы полученные из углей [157-159].

Для того чтобы достичь между угольными частицами и частицами связующего вещества большего соприкосновения следует добавить битум в виде нагретый до 100°C. В процессе нагревания битум становится более вязким и легко поддается к перемешиванию с углем. Глины в основном были использованы в виде суспензии.

Как отмечалось выше в процессе растворения глины в воде, и в процессе его активации химическими веществами, дисперсные частицы глины переходят в ионные формы, и в процессе перемешивания частицы угля и глины сближаются и за счет поверхностных соприкосновений образуют между собой связь. Для лучшего проявления связующих качеств бентонитовой глины и лессового суглинка, шихта отстаивается на 1-2 часа, после чего производится его формование. В процессе формования под воздействием небольших усилий происходит сближение угольных частиц с частицами связующего и в результате происходит склеивание.

В лабораторных условиях формование проводили:

1. В металлических цилиндрических пресс-формах диаметром 60 мм и высотой 50 -100 мм.
2. В съемных металлических и деревянных опалубках.

Прессование полученной смеси осуществлялось на лабораторном гидравлическом прессе ОКС-150 под давлением от 1 до 10 МПа при температуре окружающей среды. Экспериментально доказано, что окускование угольной мелочи с битумом и с неорганическим связующим материалом при давлении до 10 МПа получают прочные, термостойкие окускованные топлива, которые при горении не рассыпаются.

Сушка окускованного топлива. В теплые времена года свежеизготовленные окускованные топлива высушивались на открытом воздухе, в течении суток, а в холодные времена года сушились внутри помещениях или под навесом в течение 3-4 дня после чего складировались. В лабораторных условиях сушку топлива проводили в сушильном шкафу в

течении 4-5 часа (в зависимости от размера топлива) при температуре 100-105° С.

Опыты показали, что и в холодные времена года топлива могут быть высушены естественным способом под навесом, при влажности атмосферного воздуха до 70%, но для этого потребуется 8-10 дней.

## 2.7. Методы определения механической прочности брикетов

Для проведения испытаний применяют: пресс с гидравлическим приводом по ГОСТ 8905-82 или универсальную испытательную машину мощностью достаточной для разрушения брикета при сжатии. Пресс или универсальная испытательная машина должны быть снабжены манометрическим силоизмерителем и двумя стальными цилиндрическими вставками диаметром 30 мм, совмещенными по одной оси (см. рисунок 2.8);

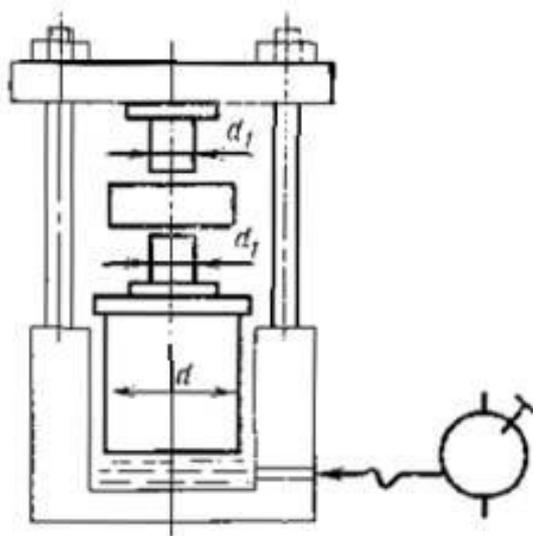


Рис. 2.8 - Универсальная испытательная машина

Барaban стальной цилиндрический закрытый диаметром и длиной 500 мм, толщиной стенок 3 - 4 мм, с электроприводом, обеспечивающим частоту вращения барабана  $25 \pm 2$  об/мин для испытания брикетов на истирание. На внутренней поверхности барабана по образующей цилиндра должны быть приварены на равном расстоянии друг от друга три полосы из угловой стали

с ребром высотой 100 мм. Для загрузки и выгрузки брикетов на цилиндрической поверхности барабана должен быть люк с дверцей;

Сито прямоугольное размерами 750- 600 мм, с высотой бортов не менее 200 мм, с сеткой П25-5 по ГОСТ 3306-70 или грохот лабораторный с вышеуказанной сеткой;

Ящики вместимостью 5 и 10 кг брикетов;

Ящик размером 300-250-250 мм, с открывающимся двухстворчатым дном для испытания брикетов сбрасыванием;

Плиту металлическую толщиной не менее 8 мм, размером 1500x1500 мм, с деревянными бортами высотой не менее 250 мм;

Весы технические, обеспечивающие относительную погрешность взвешивания не более 0,1 % от массы взвешиваемых брикетов.

### **Определение механической прочности угольных брикетов при сжатии.**

Эксперименты, проводимые нами в лабораторных и реальных условиях показали, что определяющим геометрическим размером, влияющим на прочность угольных брикетов, является их толщина. В экспериментах толщина брикетов варьировалась от 50 до 100 мм с шагом в 10 мм. Зависимость прочности от их толщины приведена на рисунке 2.9.

Как видно из рисунка, брикеты с меньшей толщиной обладают большей прочностью. При окусковании воздействие силы тяжести и давление прессования распространяется равномерно по всему объёму шихты. Поэтому частицы угля в брикетах в меньшем объеме приходится больше сил давления, что способствует росту сил сцепления между частицами и сжатие угольной массы в пресс-форме.

### **Исследование зависимости прочности брикетов от давления прессования.**

В ходе проведенных опытов нами исследовались зависимости прочности получаемых топлив от давления прессования. Прессование

проводили в лабораторном прессе ОКС-150. Давление прессования варьировалось от 1 до 9 МПа с интервалом 3 МПа.

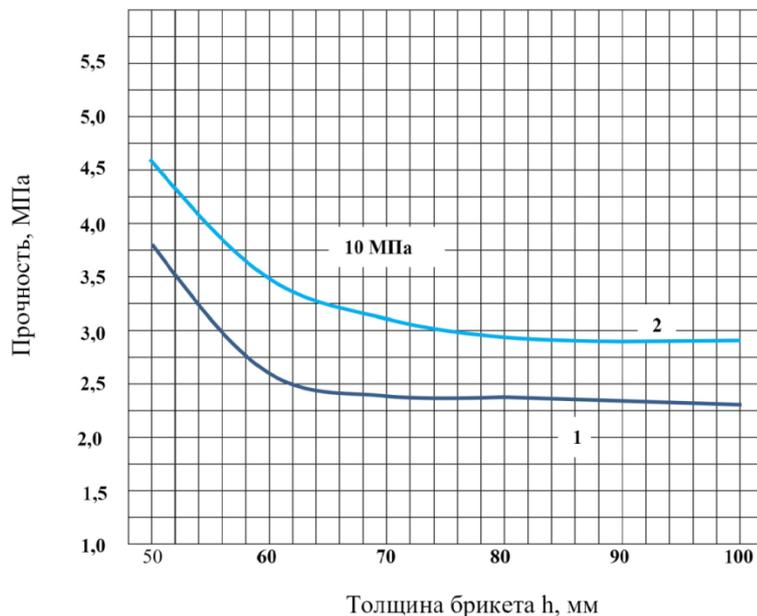


Рис. 2.9 - Зависимость прочности брикетов Р от их толщины h: 1 - Жатанский уголь, 2 – Кожокеленский уголь

Концентрация связующего материала С, составил для исследуемых мелочей углей с 5 до 30%.

На рисунке 2.10 приведены результаты экспериментов.

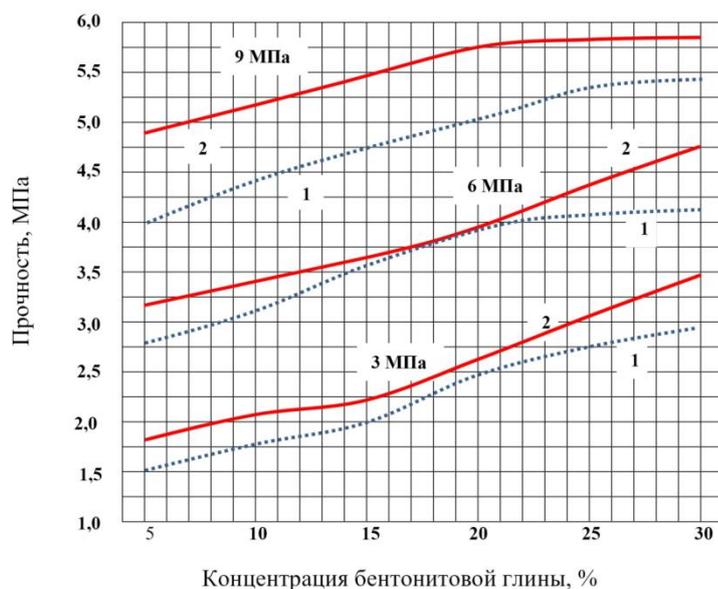


Рисунок 2.10 - Зависимость прочности окускованного топлива Р от давления прессования и от концентрации бентонитовой глины в шихте С: 1 – Жатанский уголь, 2 – Кожо-Келенский уголь.

Как показано на рисунке 2.10, с ростом давления прессования и концентрации связующего вещества, прочность получаемого топлива из Жатанского, Кожо-Келенского углей увеличивается.

Во всех интервалах изменения давления от 1 до 9 МПа происходит рост прочности получаемого топлива.

### **Определение механической прочности брикетов при истирании в барабане.**

Не менее 10 кг целых брикетов, предварительно взвешенных, помещают в барабан, закрывают крышку люка и закрепляют ее.

Включают привод, который вращает барабан с брикетами в течение 4 мин. После ста полных оборотов привод выключают, останавливают барабан, открывают дверцу люка и высыпают содержимое барабана в ящик.

Подвергнутые стиранию в барабане брикеты рассеивают на лабораторном грохоте или вручную на сите до прекращения выделения подрешетного продукта.

Надрешетный продукт, оставшийся на сите, собирают и взвешивают.

### **2.8. Метод определения водопоглощения буроугольных брикетов**

Для получения окускованного топлива с бентонитовой глиной и изучения влияния влажности на прочность, нами исследована зависимость прочности от влажности связующего.

Связующее вещество добавляется в виде раствора. Угольная мелочь имеет влажность от 5 до 15 %.

Эксперименты показали, что чем меньше влажность угольной мелочи тем больше раствора связующего вещества потребуется для подготовки шихты.

Из экспериментальных результатов видно, что КТТ полученные из шихт, влажность которых составляет 22-25% получились более прочными, а в остальных случаях прочность брикетов уменьшается, рисунке 2.11.

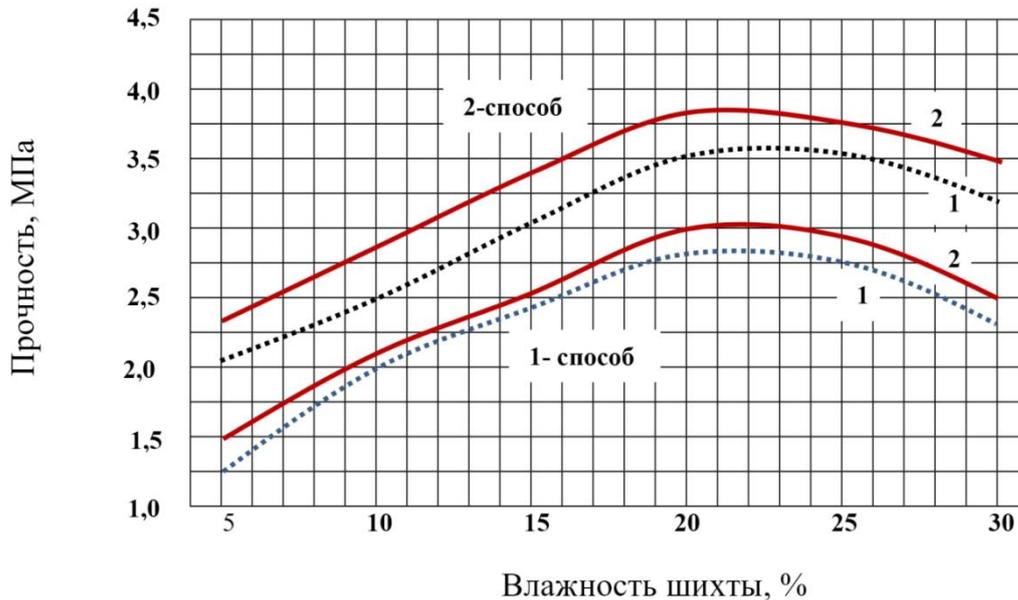


Рис. 2.11 - Зависимость прочности ОМБТ Р от исходной влажности W и способа подготовки шихты: 1 – жатанский уголь, 2 – кожокеленский уголь

При уплотнении и прессовании шихты с влажностью 23-24% подготовленной из угольной мелочи Жатан и раствора бентонитовой глины получают прочные брикеты по сравнению с угольными мелочами Кожокелен. Давление прессования остается во всех случаях одинаковыми.

Таким образом, исходя из полученных результатов можно сказать, что оптимальная исходная влажность шихты при брикетировании углей с бентонитовой глиной составляет от 18% до 22%.

Испытания полученных брикетов на прочность проводили в лабораторных условиях. Результаты приведены в таблице 2.16.

Таблица 2.16 - Зависимость прочности двух видов брикета от давления прессования, фракции угля. состава брикета

Фракция угля, мм.	Месторождение	Давление	Состав брикета	Высота сбрасы	Классы d>1 см, %	Классы d<1 см, %
-------------------	---------------	----------	----------------	---------------	------------------	------------------

	угля.	прессованная P=кгс/ см <sup>2</sup>	уголь	Суглинок	ванья м.	способы		способы	
						1-ый	2-ой	1-ый	2-ой
0,25	Кожо-Келен	50	90	10	1,5	99	92	1	8
0.25-1	-	50	-	-	-	98	79	2	21
1-3	-	50	-	-		74	63	26	37
3-5	-	50	-	-		70	57	30	43
0,25-1	-	80	-	-	-	98	94	2	6
1-3	-	80	-	-	-	94	91	6	9
5-10	-	80	-	-	-	91	-	9	-

Как видно, прочность брикета возрастает с повышением давления прессования, чем меньше размер угля, тем прочнее получается брикет.

В таблице 2.16 приведены результаты испытаний двух видов брикета, в которых связующее вещество добавляется 2-мя способами. По первому способу добавка глины в сухой уголь осуществляется в виде раствора. Предварительно суглинок растворяется в нужном количестве воды. В таком случае улучшается уплотнение и сближение угольных частиц при прессовании. К началу сжатия выжимается значительная часть влаги и воздуха.

По 2-му способу добавка лессового суглинка в сухом состоянии к углю и добавление воды с последующим перемешиванием позволило получить менее прочные брикеты с остатками нерастворенных частиц глины. В результате брикеты получаются сильно трещиноватыми. Это объясняется тем, что большое количество воздуха, запрессованного в брикете, вызывает расширение и растрескивание его после снятия давления.

## 2.9. Выводы по главе 2

Учитывая, что Республика располагает огромными запасами угля и в результате разработки накапливаются нереализуемые количества некондиционной части – отходов угледобычи, учеными нашей республики

была проведена целевая исследовательская работа по рациональному использованию их в топливно-энергетическом комплексе путем их переработки. Этими комплексными исследованиями охвачена разработка научных основ и технологий переработки низкосортных и выветрелых частей добываемых углей и отходов, которые составляют ощутимую часть природных энергоносителей. Большое значение придается получению брикетов, полученных из разных смесей угля, горючих веществ и другое, как одного из наиболее экономичных, калорийных и удобных в использовании видов топлива.

В свое время проводились исследования по брикетированию углей Кыргызстана, где определены возможные виды органических и неорганических связующих материалов для использования в процессе окускования. В основном предлагались органические материалы, остатки нефти, битум, асфальт, гумбрин, топливный кокс и другие. Отсутствие достаточных сырьевых запасов нефти и битума, а также отсутствие мощных нефтеперерабатывающих предприятий не позволяют в наших условиях использовать их в больших масштабах для получения брикетов.

В качестве неорганических связующих материалов предлагали использовать бентонитовую глину, суглинок, известь и цемент, но они были применены для брикетирования каменных углей. По результатам исследований были разработаны различные технологии получения угольных брикетов с использованием неорганических связующих веществ, которые завершались рекомендациями общего характера о возможности применения. В реальности все технологические схемы получения брикетов из углей остались в бумаге или полученный продукт по качеству не удовлетворяет потребителя.

Нами было изучено термохимическое разложение (пиролиз) некондиционных отходов бурых углей и *получены следующие результаты:*

1. Изучены процессы пиролиза углей месторождений Жатан, Кожо-Келен, Кызыл-Кия и Кызыл-Булак при температурах от 100 до 800 °С. Установлено, что с повышением температуры процесса пиролиза растет выход газообразных продуктов в 7-8 раз.

2. Исследованы процессы тероморастворения бурого угля месторождений Жатан, Кожо-Келен и Кызыл-Булак с нефтяным остатком-мазутом для получения связующего битума при температурном интервале 320-380°С.

3. Установлено, что полученный битум по техническим характеристикам вполне пригоден для брикетирования угля.

4. В качестве дешевого связующего материала для получения окускованного топлива было выбрано лессовый суглинок и бентонитовая глина. Установлено, что прочный брикет получается из угля со связующим - лессовым суглинком, составляющим 10% от общей массы, при малых давлениях 100-200 кг/см<sup>2</sup>, при этом прочность зависит от способа добавления связующего. Также установлен, что с возрастанием содержания неорганического связующего материала т.е., брикет с применением лессового суглинка получается более прочным по сравнению с бентонитовой глиной.

## ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ КТТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БИТУМА, ГЛИНЫ И ГУМАТА

### 3.1. Исследование терморастворенного битума в качестве связующей добавки

В данном разделе работы исследована возможность получения КТТ из бурых углей месторождений Кызыл-Булак, Кожо-Келен и Жатан со связующим - битумом, полученного терморастворением угля с нефтяным остатком [157-159], в зависимости от следующих факторов: крупности угля, влажности угля, давления прессования и температуры подогрева шихты.

Гранулометрический состав исследуемого штыба: крупность 0-6 мм. Зерновой состав: содержание частиц свыше 3 мм составляет от 3,2 до 14,1 %; 1-3 мм от 35,3 до 41,4 %; 0-1 мм от 49,6 до 55,2 %.

Показатели качества штыбов приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1- Физико-химические свойства углей Жатан, Кожо-Келен и Кызыл-Булак

Показатели	Жатан	Кожо-Келен	Кызыл-Булак
Аналитическая влага $W^a$ , %	11,4	9,1	8,5
Зольность на рабочий уголь $A^p$ %	21,5	14,8	12,4
Сера общая $S_{об}$ %	2,1	0,6	0,8
Выход летучих на горючую массу $V^r$ %	44	43	47
Теплотворность $Q_{н}^p$ ккал/кг	4260	4400	4600
Содержание гуминовой кислоты, %	9,43	4,8	-

Битум представляет собой продукт терморастворения бурого угля с нефтяным отходом-мазутом полученный в лабораторных условиях при температуре 360-380°C в присутствии катализатора. Основные физико-механические характеристики нефтяного битума и битума полученного терморастворением угля в лабораторных условиях представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2- Физико-механические характеристики битума нефтяного и битума полученного путем терморастворения угля.

Параметр	Битум нефтяной	Битум полученный терморастворением угля и нефтяного остатка
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	1045-1060	1150-1180
Пенетрация при 25°С, мм	15-20	8-10
Растяжимость при 25°С, см	5-7	3-5
Когезия при 25°С, Н/м <sup>2</sup>	(1,55-1,65)·10 <sup>5</sup>	(1,40-1,50)·10 <sup>5</sup>
Температура, °С:		
Размягчения	70-75	75-80
Плавления	102-103	105-108
вспышки	210-220	230-240
Вязкость, Па·с:		
При 100°С	50-80	40-60
При 200°С	0,5-1	0,7-1

Битум полученный терморастворением угля, как правило, представляет собой вязкий продукт органического происхождения с примесями угольных компонентов, температура их застывания 40-50°С.

Нами в лабораторных условиях установлены минимальные количества связующего, которое необходимо ввести в шихту для получения механически прочного КТТ.

В результате определен оптимальный гранулометрический состав шихты для получения КТТ: содержание класса более 6 мм – 2-3 %, 3-6 мм – 24-28 %, 1-3 мм – 27-35 %, 0-1 мм – 38-45 мм.

Определены зависимости прочности КТТ от крупности угля (брикетированию подвергалась угольная мелочь классов 0-6,0мм, 0-3,0мм и 0-1,0мм) и давления прессования (10, 15, 20 и 25 МПа), при содержании битума в количестве 10%. Температура шихты и прессформы составил 100°С.

Механическая прочность КТТ в зависимости от давления прессования и крупности угля приведены в рисунках 3.1, 3.2, и 3.3.

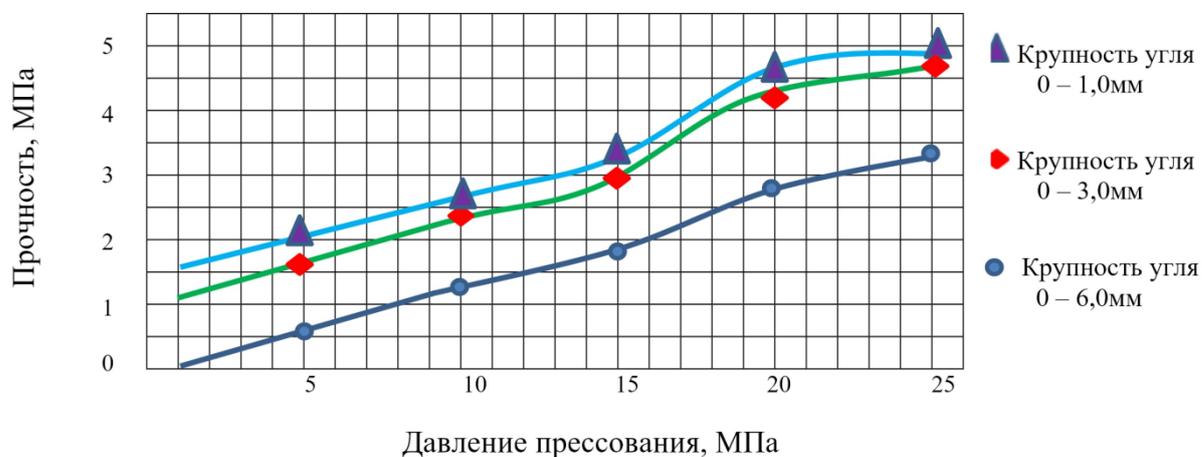


Рисунок 3.1 - Зависимость прочности брикета кызыл-булакского угля от давления прессования и от крупности угля (битум 10%, температура 100°C).

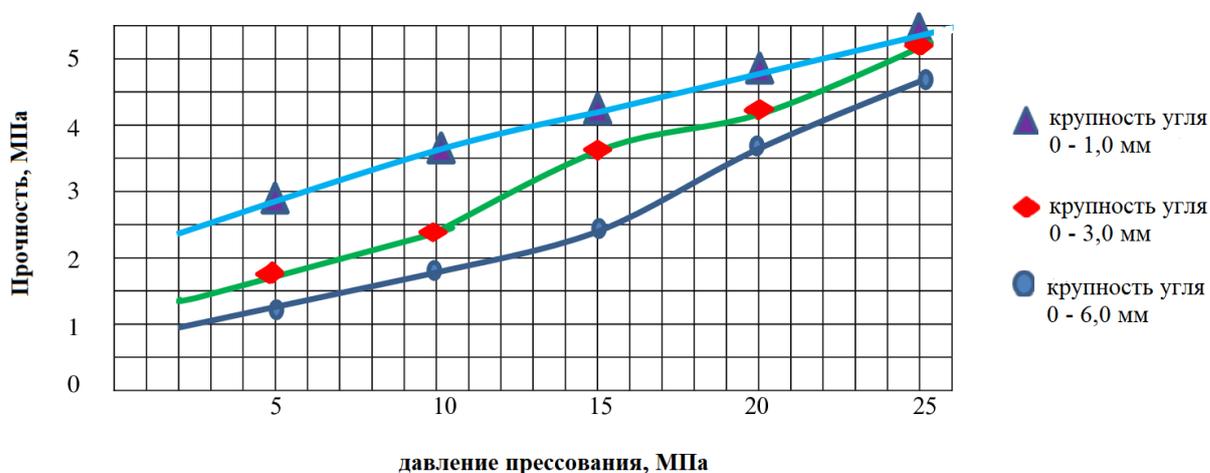


Рисунок 3.2 - Зависимость прочности кожо-келенского угля от давления прессования и от крупности угля (битум 10%, температура 100°C).

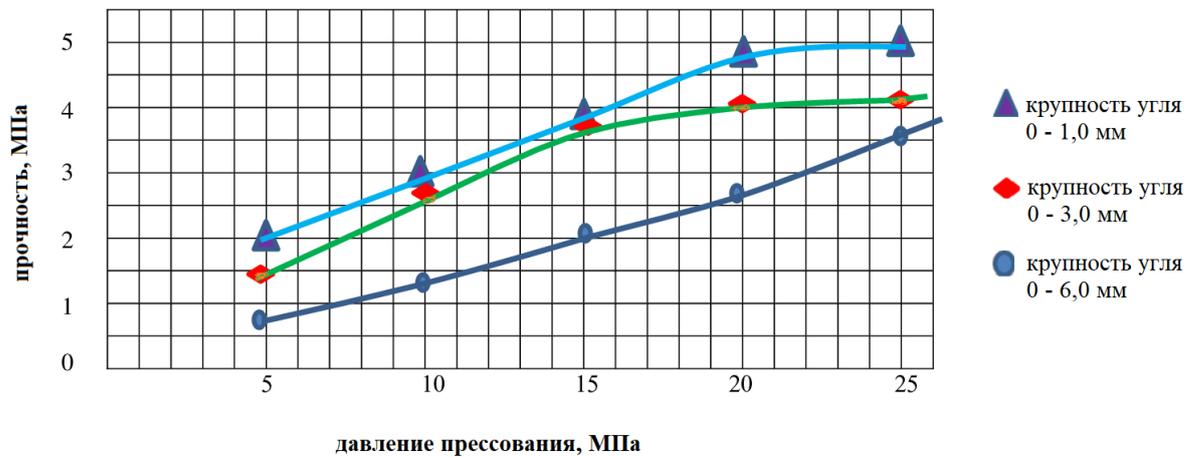


Рисунок 3.3 - Зависимость прочности брикета жатанского угля от давления прессования и от крупности угля (битум 10%, температура 100°C).

Как видно из рисунков 3.1- 3.3 все исследуемые угли крупностью 0-1мм и 0-3мм дают более прочные брикеты по сравнению с углями крупностью 0-6мм.

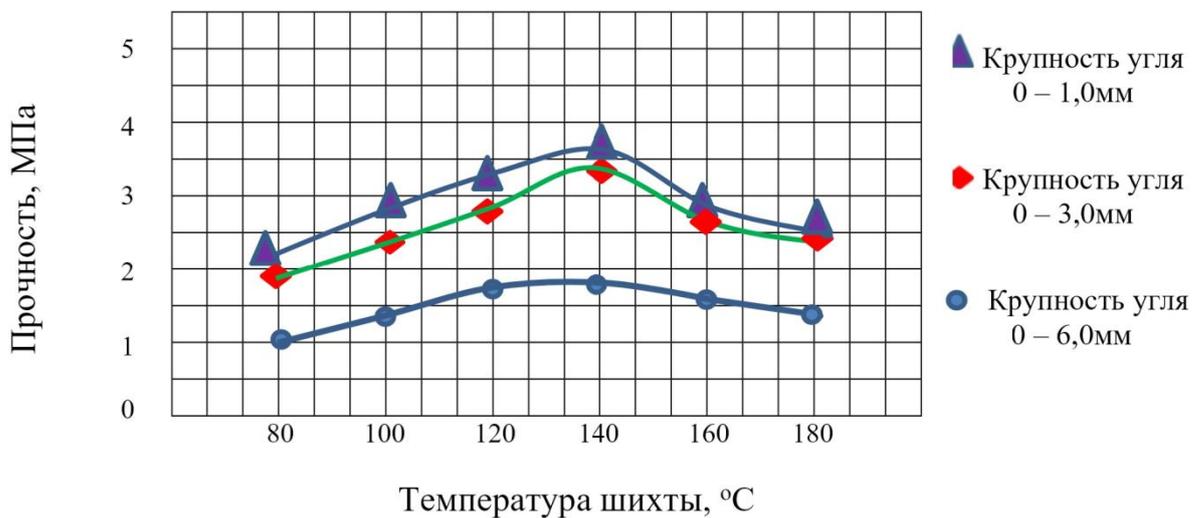


Рисунок 3.4 - Зависимость прочности брикета от температуры шихты (битум 10%).

Кроме того было исследовано влияние температуры шихты на прочность КТТ. При прочих равных условиях температура шихты

изменилась от 80 до 180 °С. Зависимость прочности КТТ от температуры шихты (температуры прессования равна температуре шихты) при содержаниях 10% битума показана на рисунке 3.4.

Как видно из рисунка 3.4, максимальная прочность при давлениях прессования 10МПа получается в интервале температур прессования 120-140°С. КТТ с 10% битума в этом температурном интервале имеют прочность 2,9-3,6 МПа.

Удовлетворительные результаты по свойствам брикетов были получены при исходной влажности штыба 6-8 %.

Расход связующего. На рисунке 3.5 показана зависимость прочности КТТ от содержания связующего – битума при различных влажностях брикетируемых углей.

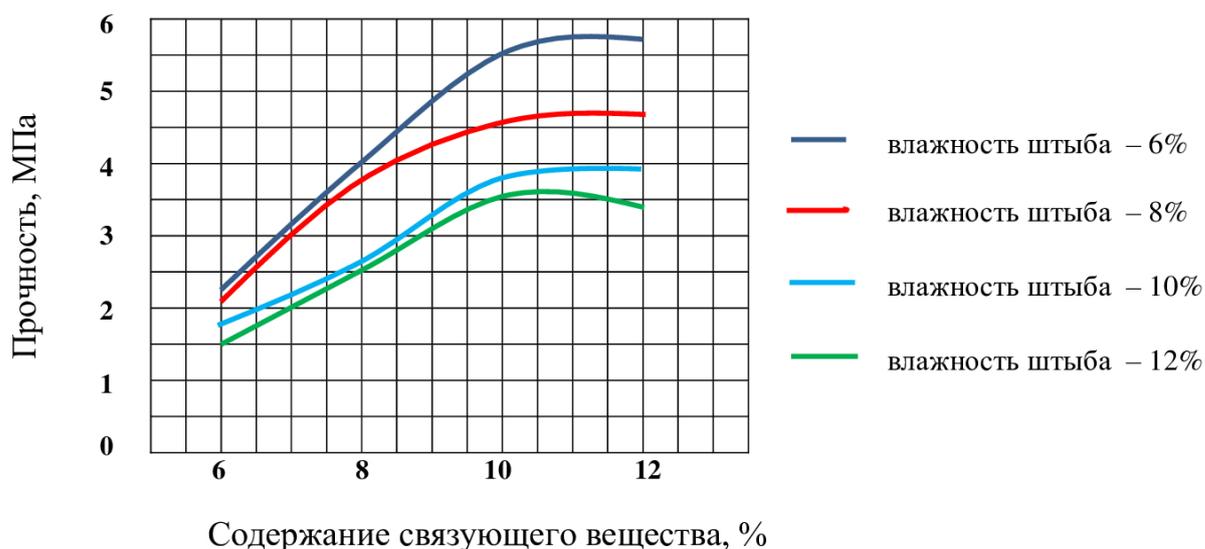


Рисунок 3.4 - Зависимость прочности брикетов от содержания связующего при разных влажностях штыба.

Установлено, что при расходе битума от 10 до 12 % отформованные брикеты имеют прочность, достаточную для того, чтобы брикет не разрушился при транспортировке к месту складирования.

Также было определено водоустойчивость брикетов путем погружения их в воду в течение 2-х часов.

Расчет влагопоглощения производился по формуле

$$\beta = \frac{P_1 \cdot 100}{P_2} - 100 \quad (1.3)$$

где  $\beta$ -степень влагопоглощения, %

$P_1$ - вес брикета до погружения в воду, г

$P_2$ -вес брикета после пребывания в воде, г.

Рассчитанные по формуле данные представлены в таблицы 3.3.

Как видно из таблицы, влагопоглощение КТТ изменяется от одного 1,61 до 10,55 % и находится в зависимости от содержания связующего вещества и давления прессования. При повышении давления прессования, равно как и при увеличении, количества связующих веществ, влагопоглощение уменьшается.

Таблица 3.3-Влагопоглощение КТТ после 2-х часового пребывания в воде, %.

Месторождение		Кызыл-Булак			
Связующее	Количество связующего, %	Давление прессования, МПа			
		10	15	20	25
битум	6	10,55	6,9	4,9	2,61
	8	5,9	4,9	3,6	2,15
	10	3,14	2,83	2,17	1,61

### 3.1.1. Исследование получения КТТ из углей Кызыл-Булак, Кожо-Келен с битумом в нагретом состоянии

Нами исследовались угли кызыл-булак и кожо-келен с битумом, параметры брикетирования варьировались широко, но результаты показали, что не всегда удастся получить из них брикеты удовлетворительные по всем показателям. Поэтому мы решили исследовать возможность получения удовлетворительных КТТ из предварительно нагретых углей[159].

При нагреве уголь переходит в пластическое или размягченное состояние. Поэтому нами исследовалась зависимость прочности КТТ от температуры нагрева при постоянном давлении ( $P=10$ МПа), далее от времени

нагрева и крупности угля. Результаты этих исследований приведены в таблицах 3.4 и 3.5.

Таблица 3.4- Зависимость прочности КТТ от температуры нагрева при постоянном давлении (P=10МПа)

Уголь	Крупность, мм	Температура нагрева °С					
		400	410	420	430	440	450
Кызыл-Булак	0-6	1,6	1,6	1,8	2,0	1,6	1,6
	0-3	2,2	2,9	3,2	3,2	2,7	2,8
	0-1	2,9	3,3	3,6	3,6	3,0	2,8
Кожо-Келен	0-6	2,3	2,7	3,1	2,7	2,0	1,8
	0-3	2,7	3,1	3,5	3,1	2,4	2,3
	0-1	3,3	3,6	4,1	3,3	3,1	2,5

Как видно из таблицы 3.4 прочные КТТ получают в широком температурном интервале от 400 до 450°С, максимумы прочности КТТ получены при температуре 410-420°С сопротивление сжатию превышает 1МПа.

Таблица 3.5- Зависимость прочности КТТ от температуры нагрева при постоянном давлении (P=10МПа)

Уголь	Давление прессования, МПа	Температура, °С							
		410°С				420°С			
		Время нагрева в минутах							
		5	10	15	20	5	10	15	20
Кызыл-булакский	10	3,0	3,2	3,2	2,8	3,3	3,5	2,9	2,3
	15	3,3	3,7	3,4	3,0	3,7	3,8	3,3	2,7
	20	3,8	4,2	3,8	3,2	4,0	4,2	3,7	3,3
	25	4,1	4,9	4,1	3,8	4,2	4,6	4,0	3,7
Кожо-келенский	10	2,3	2,4	2,3	1,9	3,1	3,2	2,9	1,8
	15	3,0	3,3	2,9	2,2	3,5	3,8	3,4	2,7
	20	3,6	4,0	3,3	2,6	4,1	4,8	3,6	3,0
	25	3,4	4,6	3,4	3,5	4,9	5,2	4,6	3,5

По результатам видно, что с увеличением времени нагрева шихты прочность получаемых КТТ снижается, оптимальным временем нагрева является 5-10 минут.

КТТ, полученные горячим прессованием, были подвергнуты вторичной термообработке до 550-600<sup>0</sup>С в течение различного времени (10,20,30мин). При этом установлено, что КТТ почти сохраняют исходную прочность (таблица 3.6).

Таблица 3.6- Влияние термической обработки на прочность КТТ (давление прессования 10МПа, T= 420<sup>0</sup>С)

Время термообработки, мин	Кызыл-Булакский уголь		Кожо-Келенский уголь	
	До термообработки	После термообработки	До термообработки	После термообработки
10	3,5	3,9	3,2	3,4
20	3,1	3,9	3,6	3,8
30	4,0	3,3	3,0	3,5

КТТ, полученные горячим брикетированием, испытаны на влагоустойчивость. Данные, приведенные в таблице 3.7, показывают, что прочность КТТ после 2-х часового пребывания в воде почти не изменяются, а влагопоглощение составляет 1-2 %.

Таблица 3.7- Прочность и водоустойчивость КТТ горячего прессования углей (P<sub>прес.</sub>=10МПа).

Параметры	Уголь					
	Кызыл-Булак			Кожо-Келен		
	Температура нагрева углей, <sup>0</sup> С					
	410	420	430	410	420	430

Прочность брикетов до погружение в воду (МПа)	3,0	3,3	3,6	3,6	4,1	3,9
Прочность брикетов после 2-х часового пребывания в воде (МПа)	2,91	3,2	3,5	3,55	4,05	2,63
Влагопоглощение, %	3.0	3.12	2,85	1.40	1,23	2,66

Термостойкость КТТ улучшается при горячем прессовании и при давлениях выше 25 МПа. Они горят в первые 3-5 мин с выделением дыма, а потом бесцветным пламенем. Шуровка не приводит к их разрушению и до конца горения они сохраняют свою форму. А КТТ, прошедшие дополнительную термообработку до 600<sup>0</sup>С, горят почти без дыма, не рассыпаются при шуровке.

Анализ экспериментальных данных по горячему брикетированию исследуемых углей показывает, что при этом получается КТТ механически прочные, водо –и термостойкие.

### **3.1.2. Влияние связующего на качество и свойства КТТ**

Битум как связующее вещество обладает высокими клеящими свойствами, например, КТТ полученные на основе битума имеют высокую механическую прочность при истирании (89-91 %), сбрасывании (90-100%), сжатии (1,2-1,6 МПа).

Для определения зависимости качества получаемых КТТ от крупности помола вышеуказанный уголь был измельчен на три фракции: фракция с крупностью частиц 0-1мм, фракция с частицами 0 -3мм и фракция 0 -5мм. Указанные 3 фракции угля были подвергнуты ситовому анализу и определены гранулометрический состав, затем каждая фракция в отдельности была подвергнута брикетированию на гидравлическом прессе, в пресс-форме диаметром 40мм.

Исходя из задания прессование происходило при 3-х параметрах, а именно: при давлении 10МПа,15МПа и 20МПа.

Применение различного давления дало возможность проследить зависимость качества полученного КТТ от давления прессования и определить оптимальный размер давления.

Также проведены брикетирование при различной концентрации шихты и определены механические свойства КТТ при концентрации связующего 6%-8%-10%.

Полученные КТТ подвергались лабораторному испытанию на сжатие и изгиб на термостойкость, на влагоустойчивость.

В качестве связующего материала нами были использованы битумоподобный материал, полученный путем терморастворения угля с нефтяным остатком при температуре 320-380°C.

Для подготовки шихты уголь нагревали до 250°C, затем добавляли связующий материал в количестве 6, 8, 10%.

#### **Получение КТТ из фракции 0-1мм.**

Указанная фракция угля, полученная путем помола исходного угля в щековой дробилке, имела нижеследующий гранулометрический состав:

Таблица 3.8- Гранулометрический состав фракции 0-1 мм.

Наименование	Класс	Количество в %
Класс угля с разм. частиц.....	1- 0,6мм	34
“ “ “ “	0,6 – 0,4	12
“ “ “ “	0,4 - 0,2	25
“ “ “ “ менее	0,2	29

Как видно из приведенного выше состава распределения классов во фракции относительно равномерное, что говорит об однородном составе угля.

Брикетирование выше указанной фракции угля 0-1мм производилось при различном давлении: 10-15-20 МПа.

Ниже в таблице 3.9 приводятся результаты брикетирования угля с 6, 8,10% битумоподобным материалом при давлении 10МПа.

Таблица 3.9 - Брикетные полученные из фракции 0-1мм

№№ опыта.	связующее %	Давления прессован. МПа	Диаметр брикета, мм	Высота брикета, мм	Объемный вес брикета, г.	Объём брикета см <sup>3</sup>	Плотность г/см <sup>3</sup>
1	6	10	40	25	40,00	31,4	1,27
2	6	“	-	20	30,200	25,1	1,203
3	6	“	40	20	30,370	25,1	1,54
4	6	“	40	21	34,100	26,37	1,29
5	8	“	40	18	30,100	22,00	1,38
6	8	“	40	21	31,970	26,37	1,21
7	8	“	40	23	35,200	23,88	1,22
8	10	“	40	19	28,900	23,86	1,21
9	10	“	40	18	30,100	22,60	1,33
10	10	“	40	16	29,180	20,09	1,45

Полученные КТТ после снятия давления хорошо сохраняли форму, имели плотный блестящий с глянцем вид с незначительными трещинами на цилиндрической поверхности брикета.

При падении на плиточный пол с высоты 2-х метров часть КТТ разбивались.

Для определения механической прочности указанная партия брикетов была подвергнута испытанию на изгиб и на сжатие (таблица 3.10, рисунок 3.1 и рисунок 3.2).

Таблица 3.10- Испытание КТТ на изгиб и на сжатие.

Вид испытания	Концентрация связующего материала, С в %	Прочность, МПа
Сопротивление на сжатие брикета:	6	4,5
-//-	8	5,2
-//-	10	6,3

Сопротивление на изгиб	6	0,33
-//-	8	0,37
-//-	10	0,45

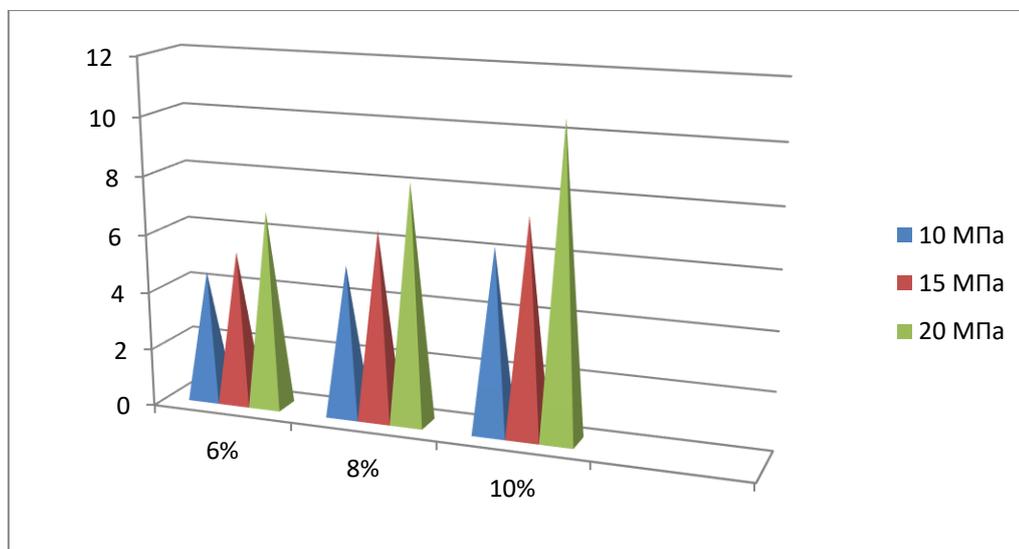


Рисунок 3.6 - Прочность брикета фракции 0-1мм на *сжатие* при концентрациях связующего 6, 8 и 10% и при давлении прессования 10, 15 и 20 МПа.

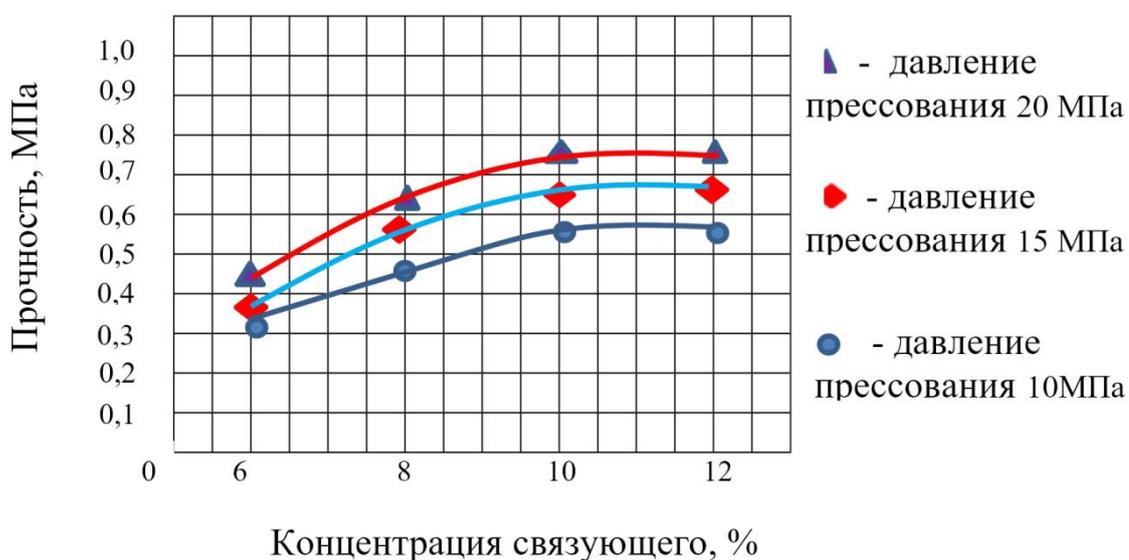


Рисунок 3.7 -Прочность брикета фракции 0-1мм на *изгиб* при концентрациях связующего 6, 8 и 10% и при давлении прессования 10, 15 и 20 МПа.

***Брикетиrowание фракции 0-1 мм при давлении 15МПа.***

Следующая партия КТТ была изготовлена при давлении 15МПа, по внешнему виду они не отличались от предыдущей партии изготовленной при 10МПа.

Таблица 3.11 - КТТ полученные при давлении 15МПа.

№опыта.	Связующее, %	Давление прессования, МПа	Диаметр брикета, мм	Высота брикета, мм	вес брикета, г.	Объём брикета, см <sup>3</sup>	Плотность брикета
11	6	15	40	18	29,940	22,60	1,32
12	6	“	40	21	33,340	26,37	1,26
13	6	“	40	18	29,760	22,60	1,32
14	6	“	40	20	30,370	25,10	1,22
15	8	“	40	19	29.750	23,86	1,24
16	8	“	40	20	30,050	25,10	1,23
17	8	“	40	19	29,200	23,86	1,21
18	8	“	40	21	32,500	26,37	1,33
19	10	“	40	20.5	32,390	25,75	1,25
20	10	“	40	19	31,000	23,86	1.3
21	10	“	40	20	32,490	25,1	1,29
22	10	“	40	18	27,940	22,60	1,23

КТТ изготовленные при 15МПа прошли испытание на механическую прочность, результаты показали:

Таблица 3.12- Испытание КТТ на изгиб и на сжатие.

Вид испытания	Концентрация связующего материала, С в %	Прочность ,МПа
Сопротивление на сжатие брикета:	6	5,3
-//-	8	6,5
-//-	10	7,4
Сопротивление на изгиб	6	0,45
-//-	8	0,57

-//-	10	0,65
------	----	------

**Брикетирование фракции 0-1 мм при давлении 20МПа.**

Брикетирование фракции 0-1 мм при давлении 20 МПа производилось при тех же условиях как и в опытах с давлением 10-15МПа. Полученные КТТ имели меньше трещин на цилиндрической поверхности чем в предыдущих опытах.

Характеристика полученных КТТ представлена в таблице 3.13.

Таблица 3.13- КТТ полученные при давлении 20МПа.

№ опыта	связующее %	Давления. МПа	Диаметр брикета, мм	Высота брикета, мм	вес брикета, г.	Объём брикета, см <sup>3</sup>	Плотность брикета, см <sup>3</sup>
23	6	20	40	19,5	29,700	24,49	1,21
24	6	“	40	22	35,910	27,63	1,29
25	8	“	40	20	32,730	25,1	1,30
26	8	“	40	19	3,380	23,86	1,31
27	10	“	40	18	29,470	22,60	1,30
28	10	“	40	20	31,980	25,1	1,27

Механическое испытание на сжатие и сопротивление на изгиб КТТ показали следующее:

Таблица 3.14- Испытание КТТ на изгиб и на сжатие.

Вид испытания	Концентрация связующего материала, С в %	Прочность ,МПа
Сопротивление на сжатие брикета:	6	6,8
-//-	8	8,2
-//-	10	10,6
Сопротивление на изгиб	6	0,53
-//-	8	0,67
-//-	10	0,75

### ***Брикетирование фракции 0-3 мм.***

Уголь данной фракции был подвергнут брикетированию в той же пресс-форме и при тех же условиях, которые соблюдались при испытании фракции угля 0-1 мм, при этом получены нижеследующие размеры и результаты на механическую прочность:

Таблица 3.15- Результаты брикетирования фракции угля 0-3мм.

№ опыта	связующее %	Давление, МПа	Диаметр брикета, мм	Высота брикета, мм	вес брикета, г.	Сопротивление на сжатие, МПа	Сопротивление на изгиб, МПа
29	6	10	40	19.5	Брикет выйдя из формы рассыпался		
30	6	15	40	25	38,350	1,6	-
31	6	20	40	24	37,760	2,2	-
32	8	10	40	22	34,613	2,9	0,35
33	8	15	40	23	35,282	3,6	0,37
34	8	20	40	24	37,680	4,6	0,43
35	10	10	40	23	35,340	3,4	0,55
36	10	15	40	25	39,230	4,7	0,59
37	10	20	40	25	39,280	7,3	0,67

### ***Брикетирование фракции 0-5 мм.***

Уголь данной фракции был подвергнут брикетированию при тех же условиях что и в опытах с фракциями 0-1 и 0-3 мм.

Результаты испытаний приводятся ниже в табл. 3.16.

Таблица 3.16- Результаты брикетирования фракции угля 0-5мм.

№№ опыта.	связующее %	Давления, МПа	Диаметр брикета, мм	Высота брикета, мм	вес брикета, г.	Сопротивление на сжатие, МПа	Сопротивление на изгиб, МПа
38	6	10	40			рассыпается	

39	6	15	40	24	37,450	рассыпается	
40	6	20	40	24	36,510	2,3	
41	8	10	40	25	38,300	2,8	0,33
42	8	15	40	24	37,800	3,3	0,35
43	8	20	40	24	38,200	3,9	0,37
44	10	10	40	24	38,650	3,6	0,45
45	10	15	40	25	39,100	4,7	0,49
46	10	20	40	25	39,120	6,4	0,55

***Брикетирование при различной влажности шихты.***

Для определения влияние степени влажности на механическую прочность КТТ и выбора оптимального ее содержания в исходном угле проведено брикетирование угля при содержании влаги 8-10%. Давление прессования составило 20МПа.

Партия КТТ изготовленная из угля с содержанием влаги 8% имела следующую характеристику (таблица 3.17).

Таблица 3.17-Характеристика КТТ с содержанием влаги 8%

№№ опыта.	Влага, %	Давления, МПа	Диаметр брикета, мм	Высота брикета, мм	вес брикета, г.	Объём брикета, см <sup>3</sup>	Плотность брикета, см <sup>3</sup>
47	8.0	20	40	17	27,330	21,35	1,28
48	“	“	40	18	28,740	22,61	1,27
49	“	“	40	18	28,380	22,61	1,25
50	“	“	40	17	27,720	21,35	1,29
51	“	“	40	18	28,590	22,61	1,26
52	“	“	40	17.5	27,990	21,98	1,27

***Термостойкость КТТ.***

Сжигание в муфельной печи показали, что форма КТТ сохраняется до конца горения, при этом давая легкие трещины и осыпаясь по мере выделения золы на поверхность.

Выделение летучих и их горение давало языки пламени длиной до 8-10 см высоты над КТТ. Брикет рассыпался под действием нагрузки только в момент его полного озоления.

***Влагоустойчивость КТТ.***

Наиболее механически крепкие (давление 20МПа и влага 8 %) КТТ были опущены в сосуд с водой. Брикет после погружения в воду рассыпался частично.

Результаты показаны в таблице 3.18.

Таблица 3.18- Влагоустойчивость КТТ

Вид испытания	Влажность брикета, в %	Прочность, МПа
Сопротивление на сжатие брикета:	8	6,8
Сопротивление на изгиб	8	0,56

***Брикетирование шихты с влагой 10%.***

КТТ полученные из угля с влагой 10% имели характеристику представленную в таблице 3.19.

Таблица 3.19- Брикетирование шихты с влагой 10%.

№№ ор.	Влага % %	Давления МПа	Диаметр брикета мм	Высота брикета мм	вес брикета.г.	Объём брикета см3	Плотность брикета см3
43	10	20	40	17	26,340	21,35	1,23
44	“	“	40	18	28,060	22,61	1,24
45	“	“	40	18	28,420	22,60	1,30
46	“	“	40	18.5	29,700	23,24	1,27
47	“	“	40	19	30,120	23,86	1,26
48	“	“	40	19	29,530	23,86	1,23

Результаты испытаний показали, что прочность КТТ на сжатие составляет 6,3 МПа, а на изгиб 0,51МПа.

Выводы:

1. Применение в качестве связующего материала - битумоподобный продукт полученный в результате терморастворения угля с нефтяным отходом при температуре 320-380°C дает механически прочные брикеты, которые оказывает сопротивление сжатию до 106 кг/см<sup>2</sup> и сопротивление на изгиб до 7,5 кг/см<sup>2</sup>.

2. Повышение давления прессования увеличивает механическую прочность брикетов.

3. Механическая прочность брикетов увеличивается с увеличением степени помола угля.

4. С увеличением степени влажности угля, механическая прочность брикета понижается.

5. Оптимальными параметрами при производстве механически крепких брикетов следует считать крупность угля 0-3мм: влажность 6,5%, давление прессования 200кг/см<sup>2</sup>.

### **3.1.3. Технологическая схема брикетирования бурых углей с битумоподобным веществом**

В известных методах брикетирования предусматривается расход связующего нефтяного происхождения 7-8% для каменных и 10-12% для бурых углей от массы угля, что удорожает себестоимость брикетов, к тому же связующие нефтяного происхождения остродефицитны для республики. Поэтому нами, проведены исследования брикетируемости бурых углей с применением связующего вещества, полученного из угля методом терморастворения.

Выше приведенные результаты исследований показали, что положительные результаты получены при расходе 7-8% битума от массы угля. Определено влияние технологических факторов (расход битума, влажность шихты, давления прессования, гранулометрический состав и температурные режимы) на качество КТТ.

На основе полученных экспериментальных данных разработана технологическая схема производства буроугольных брикетов (рисунок 3.8)

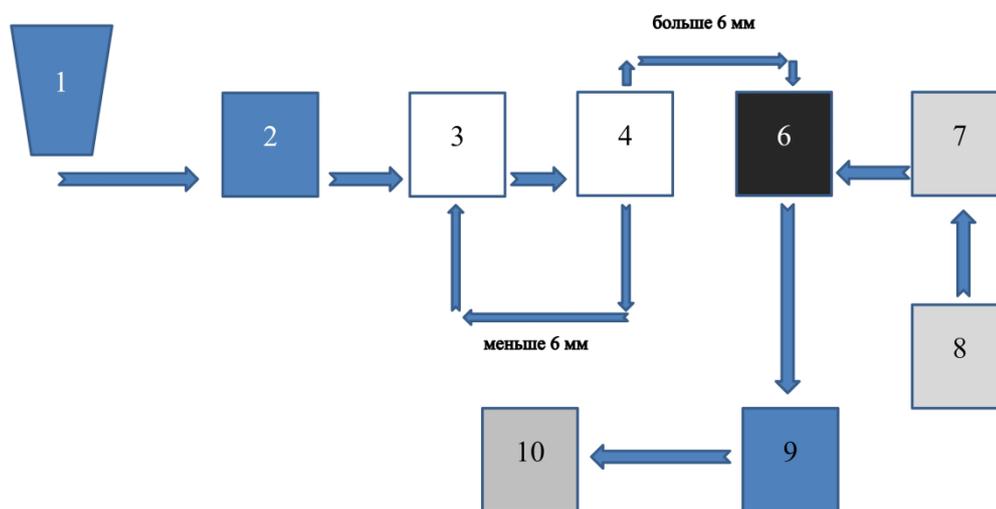


Рис. 3.8 - Технологическая схема получения КТТ со связующим битумом (полученный терморазложением угля)

1-Бункер, 2- Конвейер, 3- Дробилка, 4- Сушильная установка, 5- Смеситель шихты, 6- Форсунка битума, 7-Битум нагреватель, 8-Пресс, 9-Композиционное твердое топливо, 10-Склад

Угольная мелочь 0-13 мм с бункера (1) на ленточном конвейере (2) поступает в дробильный цех (3), измельченные угли размером меньше 6мм транспортируются в сушилку (4), а больше 6мм возвращают на дробление. Сушка осуществляется до воздушно-сухого состояния углей. Высушенную угольную шихту с температурой 50-60<sup>0</sup>С направляют в смеситель шихты (5), с помощью форсунки (6) подается горячий битум в расчете 7-8% битума от массы угольной шихты. Разогретый до 150<sup>0</sup>С битум получают в битум нагревающим аппарате (7). Горячая шихта поступает в штемпельный пресс (8). Угольная шихта брикетируется под давлением, развиваемом штемпельным прессом (более 50 МПа). Брикеты из Кызыл-Булакского, Кожо-Келенского углей, полученные по этой технологической схеме, прописанному методу, механически прочны (0,1-3,0 МПа ) и водоустойчивы (остаточная прочность после 2-х часового пребывания в воде составляет

более 40%, и термоустойчивы, не разрушались в процессе горения в муфельной печи при 800°C)

### **3.2. Исследование механохимически активированной глины в качестве связующей добавки для получения композиционного твердого топлива**

Опыт использования глин в производстве угольного брикета, композиционного твердого топлива (КТТ) известны, но есть недостатки в его использовании [86, 88].

Связующая способность низкосортных глин может быть повышена путем химической активации. Активация глин основана на изменении их электрокинетического потенциала, замене в диффузном слое глинистой частицы ионов  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$  одновалентным ионом  $\text{Na}^+$ . В результате такой замены увеличивается электрокинетический потенциал глин, как следствие, возрастает толщина гидратной оболочки глинистых частиц, обработанных солями натрия, что приводит к разрыву связей между ними [144-151]. В результате ионной пептизации дисперсность глин увеличивается, повышается их коллоидальность, а следовательно, и связующая способность. Чем больше в обменном комплексе глин катионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$ , тем меньше их коллоидальность и связующая способность. Кальциевые бентониты и глины обладают очень низкой связующей способностью в смесях после тепловой сушки по сравнению с натриевыми.

Массовая доля активаторов определяется содержанием обменных катионов Ca и Mg. Активированная глина (с преобладанием в ее ионообменном комплексе катионов Na) не так прочна во влажном состоянии. Однако в сухом состоянии она проявляет большую связующую способность.

Механическая активация бентонитовой глины проводили в шаровой мельнице, размер фракций после измельчения составил 0,075-0,250мм.

Затем глину растворяют водой до влажности 40-60%, при интенсивном перемешивании в глиномешалке добавляют активатора. Эксперимент заключался в обработке щелочноземельных бентонитов карбонатом натрия в различных условиях. Реагент добавляли в количестве 1; 2 и 3% от общей массы навески. Для оценки результатов активации определялись такие физико-химические характеристики, как *коллоидальность* материала и его способность к *набуханию*. Эффективность ионного обмена оценивалась по количеству обменных катионов кальция и магния в минерале после активации. Число катионов щелочноземельных металлов (общая жесткость) в обменном комплексе неактивированного бентонита составляло 40-60 мг·экв/100г у испытуемого образца, то после активации концентрация обменных катионов кальция и магния значительно снижается, что может свидетельствовать о прошедшем ионном обмене.

Максимальный эффект замещения наблюдается при 3%-ной добавке реагента. Температура раствора при этом составляет 20-30°C. Для полного завершения процесса химической активации глины раствор оставляют на 10 часов. Для получения КТТ в основном использовали водный раствор.

В наших исследованиях были применены бентонитоподобные глины Ноокатского месторождения.

Таблица 3.20- Характеристика глины

характеристика	До активации	После активации
Влажность,%	6,3	8,4
Содержание песка,%	0,15	0,05
Удельный вес (плотность) при вязкости 25с, г/см <sup>3</sup>	1,18	1,26
Водоотдача при вязкости 25с, г/см <sup>3</sup>	14	18
Выход глинистого раствора при вязкости 25с, г/см <sup>3</sup>	3,5	4,2

Многочисленные опыты показали, что наиболее технологичной является введение связующего в виде его 20-25%- ного водного раствора. При этом можно легко получить необходимую влажность шихты, который считается оптимальным при  $W_{ш.} = 18-25\%$ . При меньшей концентрации связующего наблюдается увеличение влажности шихты, большее набухание частиц угля, следовательно, уменьшение сил сцепления между ними при прессовании (167).

При приготовлении шихты обязательно учитывается исходная влажность угольной мелочи, если влажность высокая то берется раствор связующих материалов с концентрацией до 25%, если наоборот, то концентрация снижается до 20%.

На рисунке 3.9 приведена зависимости прочности  $P$  и теплотворности  $Q_{нКТТ}$  (с различных месторождений угля) полученных с применением активированной бентонитовой глины и без его активации (давление прессования- до 10 МПа, исходная влажность шихты – 18-25%).

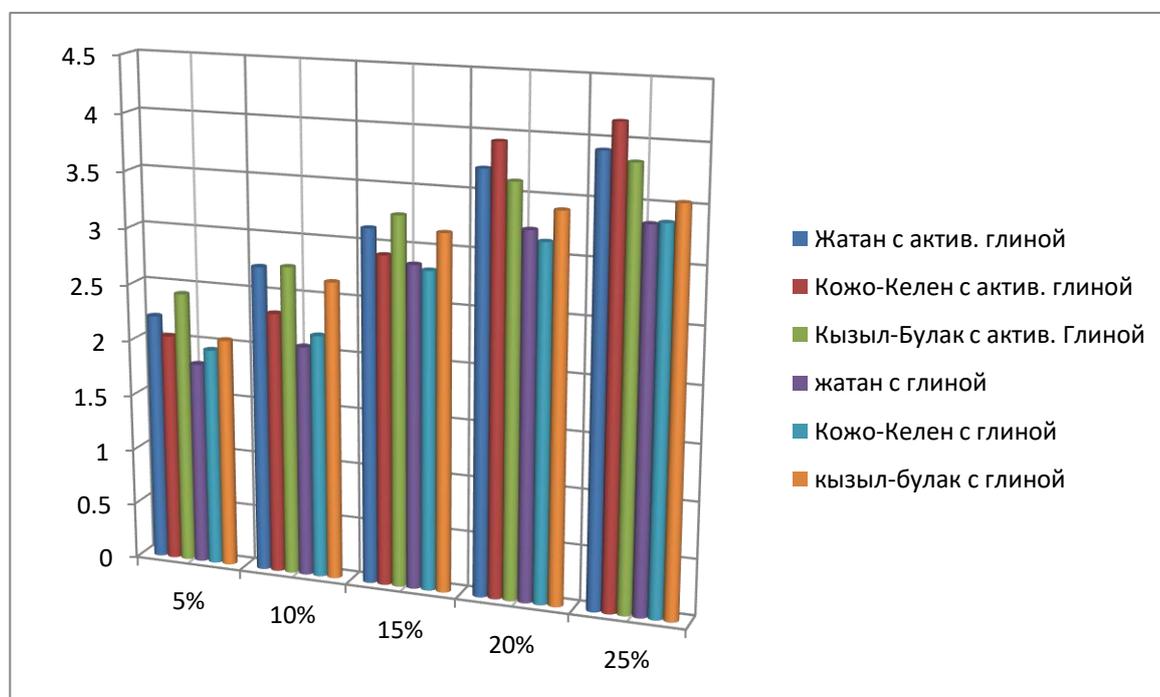


Рис. 3.9- Зависимость прочности  $P$  КТТ от концентрации активированной бентонитовой глины, а также без активации в шихте.

Как видно из рисунка 3.9, прочность  $P$  топлива возрастает с ростом концентрации связующего материала. С ростом концентрации связующего от 5 до 25%, прочность полученных топлив из Жатанского угля растет с 2,21 МПа до 3,92 МПа, т.е. на 1,71 МПа, а для Кожо-Келенского угля - с 2,04 МПа до 4,16 МПа, для Кызыл-Булакского угля –с 2,43 МПа до 3,84 МПа.

Другая картина наблюдается при получении КТТ с применением не активированного бентонита. Как видно из рисунка 3.9 с ростом концентрации связующего от 5 до 25% прочность полученных топлив из жатанского угля растет с 1,81 МПа до 3,35МПа, а для Кожо-Келенского угля с 1,95 МПа до 3,37 МПа, а для Кызыл-Булакского угля с 2,05 до 3,54 МПа.

На рисунке 3.10 приведена зависимости теплотворности  $Q_{нКТТ}$  (с различных месторождений угля) полученных с применением активированной бентонитовой глины и без его активации (давление прессования- до 10 МПа, исходная влажность шихты – 18-25%).

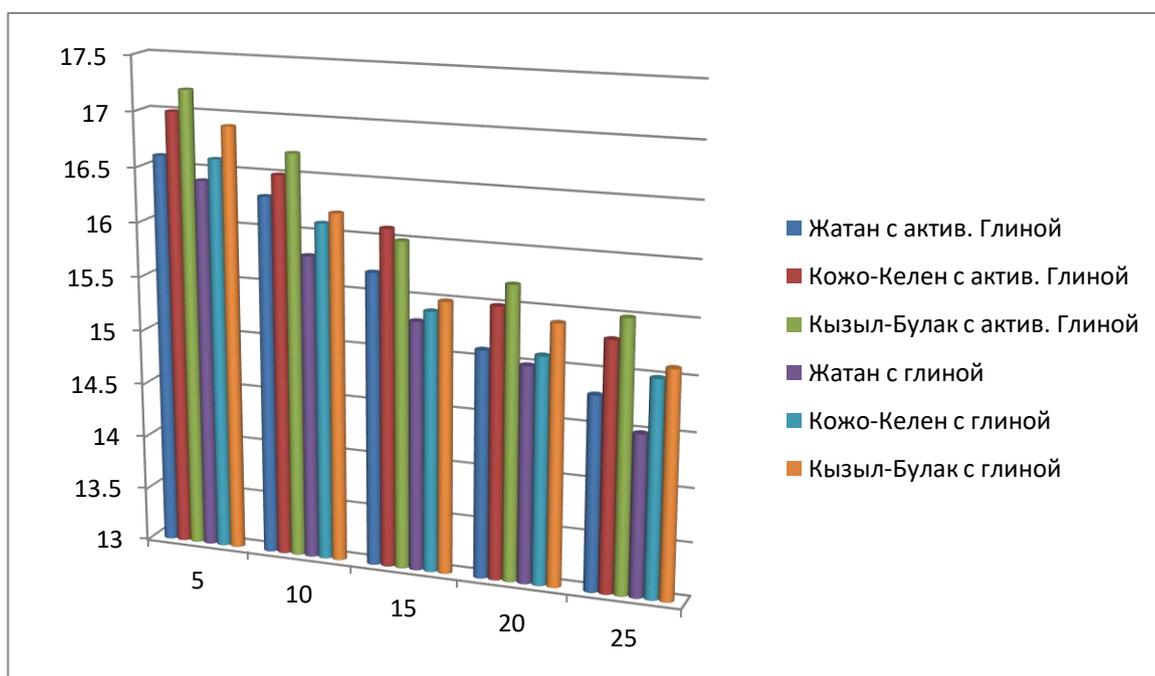


Рис. 3.10 - Зависимость теплотворности  $Q$  КТТ от концентрации активированного бентонита, а также неактивированного бентонита.

Теплотворная способность топлива с ростом концентрации связующего от 5 до 25% несколько уменьшается. Теплотворность КТТ полученных из

Жатанских углей с активированной бентонитовой глиной, уменьшается с 16,6 МДж/кг до 14,8 МДж/кг, т.е. на 1,8 МДж/кг, а из Кожо-Келенских углей с 17,0 МДж/кг до 15,3 МДж/кг, на 1,3 МДж/кг. Также из Кызыл-Булакских углей с 17,2 МДж/кг до 15,5 МДж/кг, на 1,7 МДж/кг.

Теплотворность КТТ полученных с применением бентонитовой глиной, т.е без активации также уменьшается, например из Жатанского угля с 16,4 МДж/кг до 14, 5 МДж/кг, т.е. на 1,9 МДж/кг, а из Кожо-Келенских углей с 16,6 МДж/кг до 15,0 МДж/кг, на 1,6 МДж/кг. Также из Кызыл-Булакских углей с 16,9 МДж/кг до 15,1 МДж/кг, на 1,8 МДж/кг.

КТТ с прочностью свыше 2,5 МПа является термостойким, в процессе горения и не рассыпается при интенсивной шуровке.

Как и в случае с активированной бентонитовой глиной, теплотворность (Q) КТТ с не активированным бентонитом с ростом концентрации связующего уменьшается и это уменьшение прямо пропорционально увеличению концентрации. Если при концентрации равной 0, прочность и теплотворность КТТ равны прочности и теплотворности исходного угля, то при концентрации связующего 25 % прочность КТТ увеличится в 1,5 – 1,7 раза для жатанского угля и в 1,5- 2,0 раза для кожо-келенского и кызыл-булакских углей, а теплотворность уменьшается на 9-10% соответственно.



Рис. 3.11 - Горение ФУБ с активированной бентонитовой глиной.

На рисунке 3.11 представлена фотография момента горения полученного топлива из Кожо-Келенского угля с активированной бентонитовой глиной. Горение происходит по всей поверхности брикета.

#### Выводы:

Активация бентонитовой глины позволяет получить КТТ требуемого качества с меньшим количеством связующего по сравнению с не активированной глиной. По характеру изменения прочности и теплотворности, установлены оптимальные значения концентраций активированного бентонита, обеспечивающее необходимую прочность брикетов при удовлетворительном теплотворности. Оно равно 8- 10% для Жатанских углей, 12-15% для Кожо-Келенских углей и 7-10% для Кызыл-Булакских углей.

#### **3.2.1. Влияние состава и количества лессового суглинка на свойства твердого композитного топлива**

В поисках получения композиционного топлива на основе угольной мелочи с применением лессового суглинка, нами проведены серии опытов по определению количества связующего в составе КТТ.(167)

Опыты показали, что связующее в виде водного раствора или суспензии наиболее подходит в получении КТТ. Определены оптимальные влажности шихты-  $W_{ш.} = 18-25 \%$ . При меньшей концентрации связующего наблюдается увеличение влажности шихты, большее набухание частиц угля, следовательно, уменьшение сил сцепления между ними при прессовании.

При приготовлении шихты обязательно учитывается исходная влажность угольной мелочи, если влажность высокая то берется раствор

связующих материалов с концентрацией до 25%, если наоборот, то концентрация снижается до 20%.

При получении КТТ с применением лессового суглинка также с увеличением концентрации С связующего вещества возрастает прочность Р топлива.

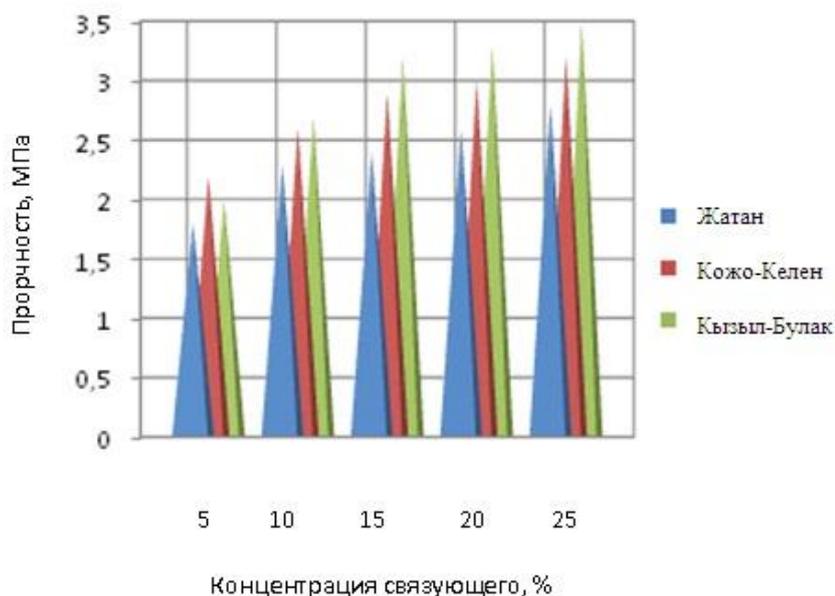


Рисунок 3.12 - Зависимость прочности Р композиционного твердого топлива из исследуемых углей от концентрации лессового суглинка.

Как видно из рисунка 3.12 и рисунок 3.13 с ростом концентрации связующего от 5 до 25% прочность полученных топлив из жатанского угля растет с 1,8 МПа до 2,8 МПа т.е. на 1 МПа, что составляет 30%, а для кожокеленского угля с 2,25 МПа до 3,2 МПа т.е. на 1 МПа, а для кызылбулакского угля с 2,05 до 3,5 МПа т.е. на 1,5 МПа, в процентном соотношении составляет 33%.

Теплотворность изменяется в следующем порядке:

1. КТТ из жатанского угля с 16,5 до 14,8 МДж.
2. КТТ из кожокеленского угля с 16,75 до 15,2 МДж.

### 3. КТТ из кызылбулакского угля с 17,2 до 15,8 МДж.

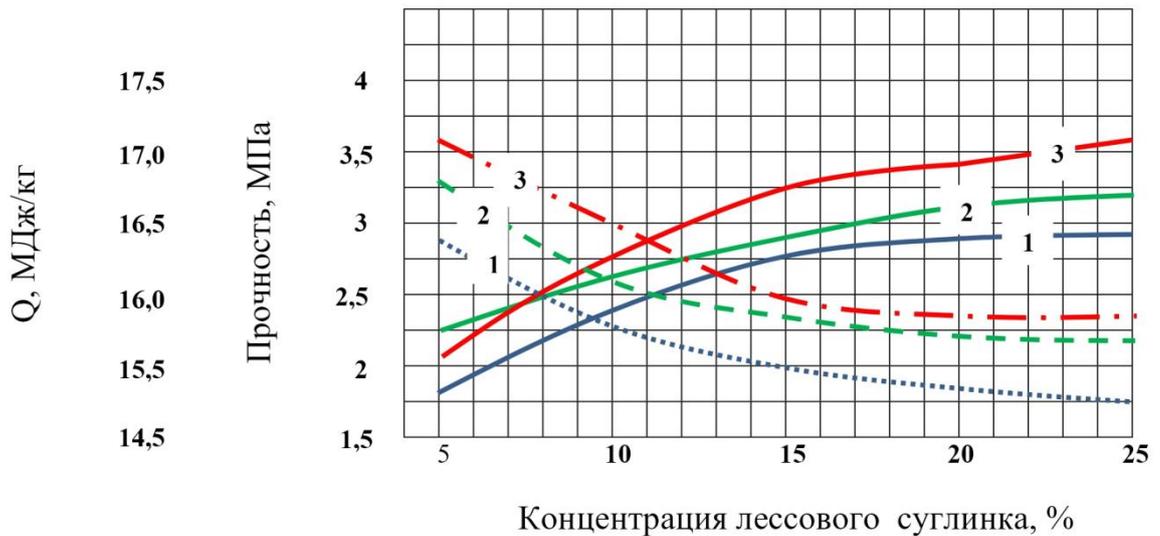


Рисунок 3.13 - Зависимость прочности Р и теплотворности Q КТТ от концентрации лессового суглинка С; 1- жатанский уголь, 2- кожокеленский уголь, 3- кызылбулакский уголь.

На рисунке 3.14 приведена зависимости прочности Р и теплотворности  $Q_n$  КТТ из жатанского и кожокеленского углей от концентрации лессового суглинка и давления прессования. (исходная влажность шихты – 18-25%).

Как видно из рисунка 3.14, механическая прочность КТТ как для жатанских так и для кожокеленских углей растет с увеличением концентрации связующего в шихте (С), так и с ростом давления прессования.

Рост прочности КТТ полученной из жатанского угля с ростом концентрации связующего от 5 до 30% при давлении прессования 3, 6 и 9 МПа составило от 1,2 до 2,4 МПа, от 1,8 до 3,2 МПа и от 2,6 до 4,0 МПа соответственно. Рост прочности КТТ из кожокеленских углей при таких же параметрах составило от 1,4 до 2,4 МПа, от 2,3 до 3,4 МПа и от 2,9 до 4,2 МПа соответственно.

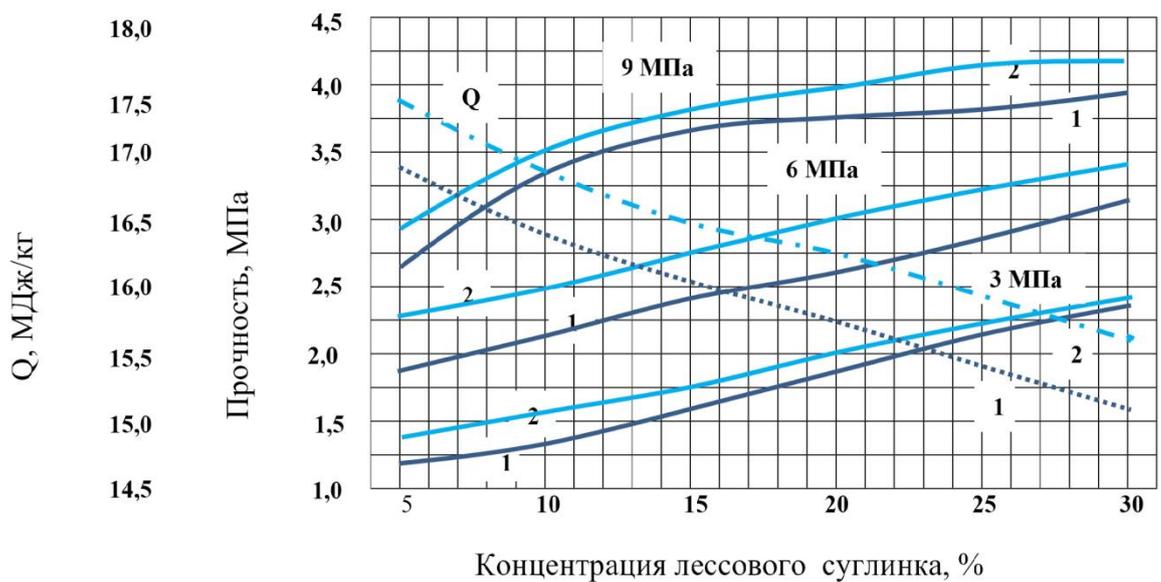


Рис.3.14 - Зависимость прочности Р и теплотворности Q - КТТ от концентрации С лессового суглинка в шихте при различных давлениях прессования: 1 – жатанский уголь, 2 – кожокеленский уголь

При высоких концентрациях связующего и при увеличении давления прессования, прочности КТТ из жатанских и кожокеленских углей растет существенно, и это различие составляет 10-12 %.

Как и в случае с бентонитовой глиной, теплотворность КТТ с лессовым суглинком с ростом концентрации связующего уменьшается (рисунок 3.14) и это уменьшение прямо пропорционально увеличению концентрации связующего. Если уголь спрессовать без лессового суглинка, и определить прочность и теплотворность, то результаты прочности и теплотворности будут равны исходного угля, а если содержание лессового суглинка увеличить до 25% прочность брикетов увеличится в 1,5–2,0 раза для жатанского угля и в 1,4- 1,5 раза для кожокеленского угля, а теплотворность уменьшается на 8- 9% соответственно.

В бентонитовой глине, количество минералов MgO и CaO, обеспечивающие связующие качества, в 3 раза больше, чем в суглинке, поэтому параметры с бентонитом получаются намного лучше.

Итак, с ростом концентрации связующего и давление прессования растёт прочность КТТ. Увеличение концентрации связующего приводит к снижению теплотворности.

По характеру изменения  $R$  и  $Q$ , установили оптимальное значение  $S$ , обеспечивающее необходимую прочность брикетов при удовлетворительном  $Q$ . Оно равно 15- 20% для Жатанских углей и 18-23% для Кожо-Келенских углей.

### **3.2.2. Влияние состава и количества двухкомпонентной связующей на свойства твердого композитного топлива**

Нами в исследованиях для получения КТТ были использованы лессовые суглинки расположенные в окрестностях сел Жапалак города Ош. Связующая способность низкосортных глин может быть повышена путем химической активации. Активация глин основана на изменении их электрокинетического потенциала, замене в диффузном слое глинистой частицы ионов  $Ca$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Al^{3+}$  одновалентным ионом  $Na^+$ . В результате такой замены увеличивается электрокинетический потенциал глин, как следствие, возрастает толщина гидратной оболочки глинистых частиц, обработанных солями натрия, что приводит к разрыву связей между ними. В результате ионной пептизации дисперсность глин увеличивается, повышается их коллоидальность, а следовательно, и связующая способность.

Механическая активация суглинка происходит во время измельчения в шаровой, а химическая активация лессового суглинка проводили следующим образом: 100кг глины растворяли в воде до появления глиняной суспензии (влажность 60%). Оставляют на 10-15 часов. Затем при интенсивном перемешивании в глиномешалке добавляют 2,5кг каустической соды ( $NaOH$ ). Температура раствора зависит от погодных условий, но не ниже 5°C. После 3-5 часов суспензия будет готова к использованию. Во время активации

песчаные частицы в суспензии уходят в осадок. Для получения КТТ использовали в основном водный раствор- суспензию.

Как и в предыдущих испытаниях при приготовлении шихты обязательно учитывается исходная влажность угольной мелочи, если влажность высокая берется раствор связующих материалов с концентрацией до 25%, если наоборот, то концентрация снижается до 20%.

При получении КТТ с применением активированного лессового суглинка также с увеличением концентрации С связующего вещества возрастает прочность Р топлива.

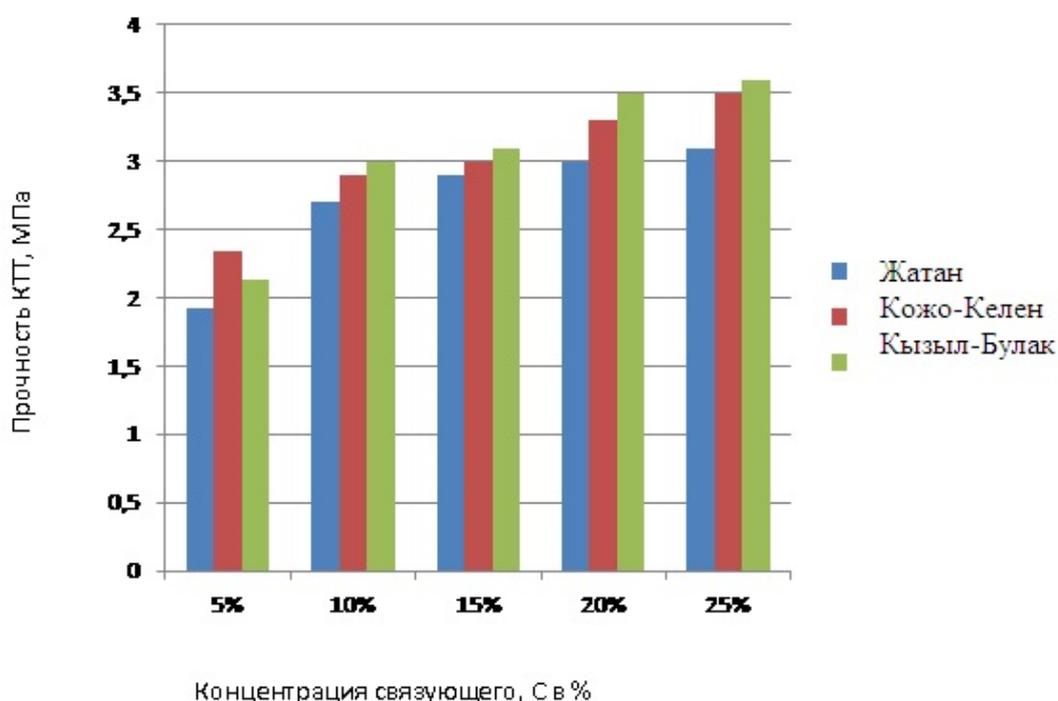


Рисунок 3.15 - Зависимость прочности Р КТТ от концентрации активированного лессового суглинка С; 1- жатанский уголь, 2- кожокеленский уголь, 3- кызылбулакский уголь.

Как видно из рисунка 3.15 с ростом концентрации связующего от 5 до 25% прочность полученных топлив из жатанского угля растет с 1,92 МПа до 3,1 МПа т.е. на 1,2 МПа, что составляет 30%, а для кожокеленского угля с

2,35 МПа до 3,5 МПа т.е. на 1,15МПа, а для кызылбулакского угля с 2,14 до 3,6 МПа т.е. на 1,56 МПа, в процентном соотношении составляет 33%.

Изменение теплотворности полученных брикетов приведены на рисунке 3.16.

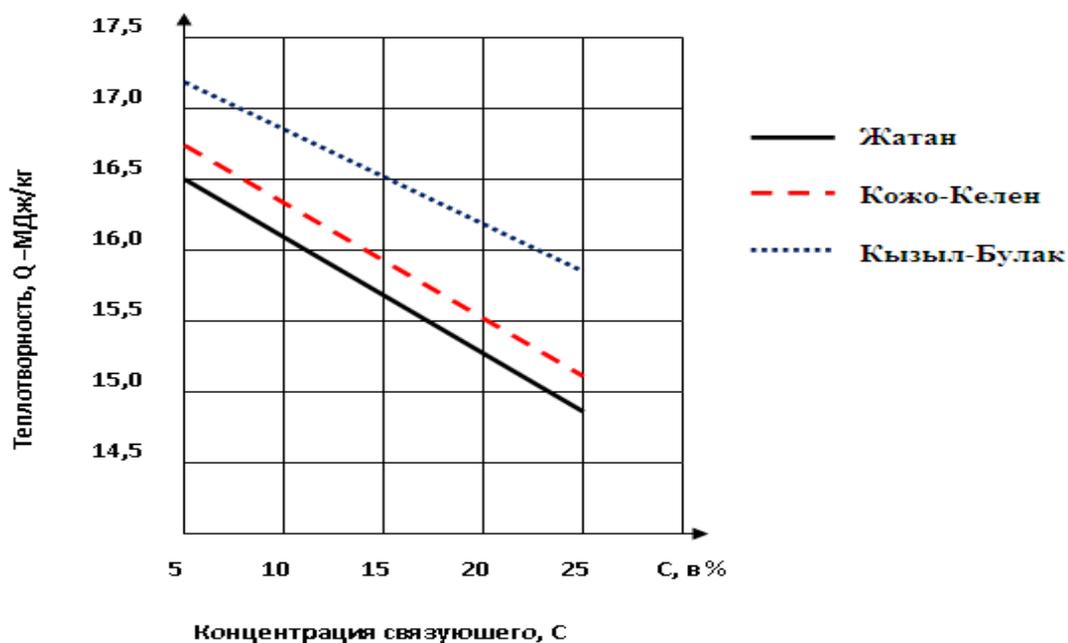


Рис.3.16- Изменение теплотворности брикетов, в зависимости от концентрации связующего.

Как видно из рисунка 3.16 теплотворность изменяется в следующем порядке:

1. КТТ из жатанского угля с 16,5 до 14,8 МДж.
2. ОМБТ из кожокелнского угля с 16,75 до 15,2 МДж.
3. ОМБТ из кызылбулакского угля с 17,2 до 15,8 МДж.

### 3.2.3. Исследование получения термо и водостойкого брикета на основе битума (полученного терморазтворением угля) и бентонитовой глины

Нами исследованы возможности получения термо и водостойких угольных брикетов на основе связующего-битума полученного терморазтворением угля и бентонитовой глины [137].

Битум, полученный терморазложением угля, при обычных условиях вязкий и достаточно жидкотекучим становится во время нагрева. Поэтому предварительный нагрев при температуре 150-200°C обеспечивает полное распределение связующего среди частиц угля, а прессование приводит к полному склеиванию. Брикет при сгорании рассыпается, так как высокая температура приводит к быстрому выходу летучих веществ, и битум теряет свои связующие способности. Поэтому для повышения термостойкости брикета нами в состав шихты «уголь-битум» добавлено неорганическое связующее- бентонитовая глина.

Изучена зависимость прочности брикета от температуры нагрева органического связующего–битума (рисунок 3.17).

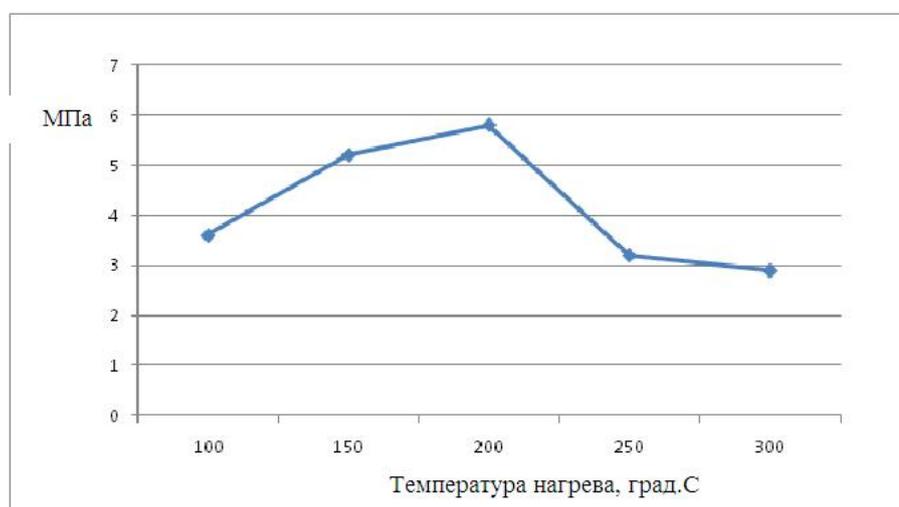


Рисунок 3.17- Зависимость прочности брикета от температуры нагрева битума.

Как видно из рисунка 3.17, при изменении температуры нагрева битума от 100 до 300°C прочность угольного брикета изменяется. Увеличение температуры нагрева битума на каждые 50°C вызывает определенный рост прочности брикета, но нагрев битума свыше 200°C вызывает резкое падение прочности получаемого брикета.

На рисунке 3.18 представлены результаты исследования зависимости прочности брикетов от концентрации связующих, битум-глина

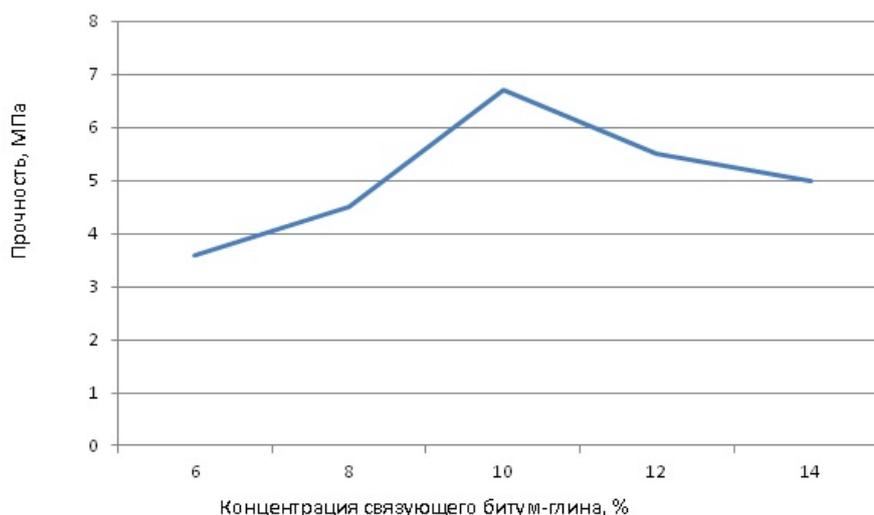


Рис. 3.18 - Зависимость прочности брикетов от концентрации связующих битум-глина.

Из рисунка 3.18 видно, что состав комплексного связующего 10 % битум + 10 % глина является оптимальным: у брикетов достигнута наибольшая прочность 6,7 МПа.

Брикеты после 2-часового пребывания в воде теряют прочность всего на 11–16 %, а водопоглощение брикетов через 24 ч составляет всего 6,4–7,8 %. Это свидетельствует о высокой степени водостойкости разработанного комплексного связующего.

По данным технического анализа исследуемые брикеты относятся к сравнительно малосернистому (общая сера 0,7 %) и средне минерализованному угольному топливу. Брикеты характеризуются высокой теплотворной способностью (5500 ккал/кг), имеют высокий выход летучих веществ.

По показателям механической прочности и водоустойчивости брикеты принимали следующие значения:

прочность на сбрасывание, не менее, % 85,0

прочность на сжатие, не менее, МПа 5,0

водопоглощение, не более, % 8,0

### **3.3. Исследование гуминовых веществ в качестве связующей добавки**

Решение проблемы брикетирования мелочей углей Кыргызстана связана к проблеме изыскание новых видов связующих веществ более дешевых, недефицитных и качественных.

В этом отношении перспективным является метод брикетирования с солями гуминовых кислот (гуматами). Связующие подобного типа недефицитны, т.к. представляют собой субстанцию самого угля переведенного в клеящее вещество путем его тонкого измельчение в щелочной среде [152].

Как было показано в работе [153-156] для брикетирования мелочи углей были использованы гумат натрия и гумат аммония (Хотунцев Л.Л, Гумаров Р.Х, Березкина З.А, Текенов Ж.Т. и др.). В своих исследованиях вышеуказанные авторы использовали либо гумат натрия либо гумат аммония. Широкомасштабные исследования с применением различных типов гуматов для брикетирования мелочей угля в вышеуказанных работах не было практиковано.

#### **3.3.1. Влияние гуминовых веществ на свойство композитного топлива**

Исходя из вышесказанного нами была изучена возможность использования гуматов (гумат натрия, гумат аммония и гумат силикатный композит (ГСК)) при брикетировании мелочи бурых углей [157]. Опыты по брикетированию проводили с мелочью углей месторождения Алмалык. Дисперсность угольного порошка для опытов составляла  $d = 0 \div 3$  мм, влажность исходного угля  $W = 13,6$  % и зольность – 19,2 %. В качестве связующих использовали водные растворы гумата натрия, гумата аммония и ГСК в следующем процентном содержании: 0,01; 0,1; 1; 2; 5; 7 и 10.

Давление прессования во всех опытах было равно 20 МПа или 200 кг/см<sup>2</sup>. Брикетки изготавливали массой по 70 г цилиндрической формы, диаметром 50 мм, и высотой 25 мм. Затем их подвергали сушке в лабораторном сушильном шкафу при t=105<sup>0</sup>С в течение часа. Испытание брикеток производились через 2-3 дня после сушки.

Брикетки подвергали испытаниям на прочность тремя независимыми методами: сжатием, встряхиванием с частотой 100 герц в течение двух часов; сбрасыванием брикеток с 1,5 метровой высоты на металлическую плиту.

При испытании брикеток методом сжатия на прочность принималось такое давление, при котором происходит разрушение брикета. При проведении испытаний методом встряхивания и сбрасывания результаты выражались в процентах. Брикетки после испытаний разделяли по размерам на два класса: первый- d >25 мм, а второй- d <25 мм.

Классы выражались в процентах от общего числа брикеток. За качественный показатель характеристики брикеток принято число брикеток, находящихся в первом классе [163]. Усредненные данные прочностных характеристик брикеток, определенных методом сжатия, приведены таблице 3.21.

Таблица 3.21- Прочностные характеристики угольных брикеток, определенные методом сжатия, МПа

Связующее	Водный раствор гуматов , (%)					
	0,1	1	2	5	7	10
Гумат натрия	2,44	2,61	2,67	2,50	2,51	2,70
Гумат аммония	3,10	2,70	2,10	2,70	2,90	3,00
Гумат силиката	2,60	2,80	3,20	3,10	-	-

Как видно из таблицы 3.21, в случае использования гумата натрия прочность брикеток увеличивается от 2,44 до 2,70 МПа, с увеличением его

процентного содержания от 0,1% до 10%. В аналогичных условиях прочность гумата аммония колеблется в пределах 2,70-3,10 МПа. Для ГСК прочность брикетов, с увеличением концентрации связующего от 0,1% до 5% возрастает от 2,60 до 3,1 МПа.

При использовании в качестве связующего растворов ГСК в концентрации выше 5% полученная шихта затвердевала быстро, и не удалось получить брикеты. Усредненные прочностные характеристики брикетов, исследованных методом встряхивания, приведены в таблице 3.22.

Таблица 3.22- Прочностные характеристики угольных брикетов, определенных методом встряхивания, %

Вид гумата и сохранность брикетов	Водный раствор гуматов в (%)						
	0,01	0,1	1	2	5	7	10
Гумат натрий, остаток брикета:							
d >25 мм (%)	98,5	73,13	80,3	80,9	94,6	94,7	95,77
d <25 мм (%)	1,5	26,87	19,7	19,1	5,4	5,3	4,23
Гумат аммоний, остаток брикета с диаметром:							
d >25 мм (%)	90,6	95,5	85,3	89,2	92,6	77,61	75,75
d <25 мм (%)	9,4	4,5	14,7	10,8	7,4	22,39	24,25
Гумат силиката, остаток брикета с диаметром:							
d >25 мм (%)	87,5	94,3	94,7	94,6	-	-	-
d <25 мм (%)	12,5	5,7	5,3	5,4	-	-	-

С увеличением содержания гумата в связующем от 0,1 до 10 % прочность остается довольно высокой. Доля крупных остатков брикетов (d >25 мм) после встряхивания в течение двух часов составляет выше 80 %. Для ГСК при всех концентрациях 0,1- 2% доля крупных остатков брикетов сохраняется стабильно высокой [163].

В таблице 3.23 приведены усредненные данные по исследованию прочности брикетов, проведенных методом сбрасывания.

Прочность брикетов с гуматными связующими, определенная методом сбрасывания, оказалась низкой. Для гумата натрия максимальная доля брикетов размерами  $d > 25$  мм после сбрасывания не превышает 35-37 % а для гумата аммония и ГСК этот показатель соответственно составляют 39-41% и 50-62%. Таким образом, высокие показатели прочности брикетов зафиксированы у связующих на основе ГСК.

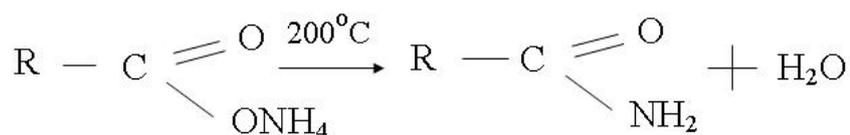
Таблица 3.23- Прочностные характеристики угольных брикетов, определенных методом сбрасывания, %

Вид гумата и сохранность брикетов	Водный раствор гуматов						
	0,01	0,1	1	2	5	7	10
Гумат натрий, остаток брикета с диаметром:							
d >25 мм (%)	8,85	2,7	35,18	37,0	22,8	28,2	35,7
d <25 мм (%)	91,15	97,3	64,82	63,0	77,2	71,8	64,3
Гумат аммоний, остаток брикета с диаметром:							
d >25 мм (%)	35,4	38,2	25,2	37,81	41,22	39,63	29,35
d <25 мм (%)	64,6	61,8	74,8	62,19	58,78	60,37	70,65
Гумат силиката, остаток брикета с диаметром:							
d >25 мм (%)	16,9	61,8	50,0	28,2	-	-	-
d <25 мм (%)	83,1	38,2	50,0	71,8	-	-	-

Однако, как показали наши исследования, при длительном хранении брикеты, полученные с использованием гумата аммония из-за поглощения влаги окружающей среды начинают терять свою прочность.

Для устранения этого недостатка, нами проводились экспериментальные исследования по сохранению прочностных характеристик брикетов при длительном хранении, методом получения термобрикетов. Для этого полученные брикеты подвергались термообработке при различных температурах процесса. На основе экспериментальных исследований было установлено, что оптимальной температурой процесса термообработки брикетов является  $200^{\circ}\text{C}$ . При такой температуре процесса достигается наиболее качественные, оптимальные характеристики брикетов: механическая прочность и влагостойкость. При низких температурах процесса не достигается требуемая прочность и влагостойкость брикетов, а при повышении температуры выше оптимальной приводит к перерасходу энергии и повышению себестоимости полученных брикетов.

Механизм повышения прочности при температуре  $200^{\circ}\text{C}$ , приводит тому, что гидрофильные гуматы аммония превращаются в амиды кислот (вещество нейтральное) вследствие которой происходят отщепления молекулы воды по следующей схеме:



Вследствии вышеуказанного процесса получают угольные брикеты на основе гумата аммония с хорошей механической прочностью и влагостойкостью.

На основе исследований по использованию гуматов в качестве связующих для брикетирования угольных мелочей можно сделать следующий вывод.

#### *Выводы:*

1.Используя гуматы натрия, аммония и силиката в качестве связующего, можно получить из мелочи углей Кыргызской Республики

брикеты с прочностью, достигающей 3 МПа или 3,0 кг/см<sup>2</sup>. Для практических целей можно рекомендовать водные растворы гуматов концентрацией от 0,1 - 2%. Оптимальные параметры прочности были достигнуты в случае применения ГСК.

2. ГСК в экономическом плане выгодно отличается от гуматов аммония и натрия. Для получения гуматов аммония и натрия требуется импортное сырье, отсутствующее в республике. Для ГСК необходимое сырье в республике имеется (продукция стекольных заводов).

3. При необходимости длительного хранения (более года) угольных брикетов на основе гумата аммония рекомендуется их подвергать термообработке при температуре 200<sup>0</sup>С. Такой процесс позволяет сохранить прочность и влагостойкость брикетов длительное время.

### **3.4. Выводы по главе 3**

1. Установлено, что битумоподобный продукт полученный в результате терморастворения угля с нефтяным отходом при температуре 320-380<sup>0</sup>С дает механически прочные брикеты, которые оказывает сопротивление сжатию до 106 кг/см<sup>2</sup> и сопротивление на изгиб до 7,5 кг/см<sup>2</sup>. Повышение давления прессования увеличивает механическую прочность брикетов. С увеличением степени влажности угля, механическая прочность брикета понижается. Механическая прочность брикетов увеличивается с увеличением степени помола угля. Оптимальными параметрами при производстве механически крепких брикетов следует считать крупность угля 0-3мм: влажность 6,5%, давление прессования 200кг/см<sup>2</sup>.

2. Показано, что положительные результаты получены при расходе 7-8% битума от массы угля. На основе полученных экспериментальных данных разработана технологическая схема производства буроугольных брикетов

3. Активация бентонитовой глины позволяет получить КТТ требуемого качества с меньшим количеством связующего по сравнению с не активированной глиной. По характеру изменения прочности и теплотворности, установлены оптимальные значения концентраций активированного бентонита, обеспечивающее необходимую прочность брикетов при удовлетворительном теплотворности. Оно равно 8- 10% для Жатанских углей, 12-15% для Кожо-Келенских углей и 7-10% для Кызыл-Булакских углей.

4. Используя гуматы натрия, аммония и силиката в качестве связующего, можно получить из мелочи углей Кыргызской Республики брикеты с прочностью, достигающей 3 МПа или 3,0 кг/см<sup>2</sup>. Для практических целей можно рекомендовать водные растворы гуматов концентрацией от 0,1 - 2%.

5. При необходимости длительного хранения (более года) угольных брикетов на основе гумата аммония рекомендуется их подвергать термообработке при температуре 200<sup>0</sup>С. Такой процесс позволяет сохранить прочность и влагостойкость брикетов длительное время.

## ГЛАВА 4. ИССЛЕДОВАНИЕ ГОРЕНИЯ КТТ И УПРАВЛЕНИЯ ИХ ГОРЕНИЯ.

### 4.1. Испытание горение КТТ в бытовых и полупромышленных условиях

Для решения проблемы утилизации и эффективного использования мелких и пылевидных фракций (штыб) углей, а также некондиционной биомассы в малой теплоэнергетике нами были проведены серии комплексных исследований по получению тепловой энергии из твердых органических носителей энергии (угля и биомассы)[158,159].

Исследования проводились по следующим направлениям: определены свойства местных видов биомассы и бурых углей; разработаны рецептуры и технологии получения композиционного топлива; установлены параметры эффективного сжигания композиционного топлива; разработаны способы модернизации используемых населением слоевых печей с целью улучшения условий горения в них композиционного топлива.

#### Определение свойств местных видов биомассы и бурых углей;

Были изучены теплотехнические характеристики некондиционных видов биомассы: древесные ветки, стебли подсолнечника, кукурузы, соломы в качестве угольного компонента брикетированного топлива использовались мелкие и пылевидные фракции бурого угля месторождения Жатан. Были определены технические характеристики биомассы и угля (таблица 4.1):

Таблица 4.1- Технические характеристики биомассы и угля

Вид топлива	Влажность $W^a, \%$	Зольность $A^a, \%$	Летучесть $V^{daf}, \%$	Теплотворность $Q^{выс}, \text{ккал/кг.}$
Уголь Жатан	10-12	14-18	34-38	4100
Стебли подсолнечника	5-7	5-6	45-47	3200
Стебли кукурузы	4-6	5-7	45-50	3600
Ветки древесные	5-7	6-9	50-60	4500
Солома	3-4	4-5	45-55	3400

## Разработка рецептуры и технологии получения композиционного топлива.

Концепция дешевого и экологически чистого топлива из смеси угля и биомассы осуществлена в композиционном топливе, названном окускованным малоплотным биобуроугольным топливом (ОМБТ) [160-172], которое относится к топливу котельного и печного назначения. ОМБТ является новым товаром, в связи, с чем разработаны технические нормативы качества ОМБТ, как товарной продукции (таблица 4.2).

Таблица 4.2- Технические нормативы качества ОМБТ

Наименование характеристики	Нормативные технические параметры ОМБТ
Сопротивление сжатию	Не менее 1 МПа
Термостойкость	Термостойкое
Рецептура топлива (в % от общего веса)	Измельченная биомасса —2-20%, буроугольные штыбы - 60-93%, глина- 5-30%.
Форма и размеры	Изделия прямоугольной формы размером в 1-3 стандартных кирпича. Мелкие куски подушечной формы размерами 15x15x7 см.
Способ формования.	Прессование в формах под небольшим давлением (до 10 МПа) на любых видах прессующих механизмов или ручная плотная набивка в формы с последующим извлечением изделия из формы.
Предформовочная подготовка смеси	Тщательное перемешивание с глинистой суспензией до образования однородной смеси.
Послеформовочная обработка продукции	В летнее время - суточная сушка брикетов на открытой площадке, в зимнее - в сушильных камерах.
Вид связующего	Монтмориллонитовые, каолинитовые, гидрослюдистые глины.
Область применения	В качестве котельного твердого топлива. В качестве печного твердого топлива для отопительно-варочных слоевых печей, заменяющего кусковой уголь и дрова.

Для изготовления ОМБТ используется несортированное топливное сырье, а формовка осуществляется под небольшим давлением, вследствие чего брикеты имеют высокую межзерновую пористость, что, в свою очередь,

является положительным фактором для эффективного горения материалов с высоким содержанием летучих компонентов [161-163].

По разработанной технологии [161-163] изготовили окускованное малоплотное биобуроугольное топливо (ОМБТ) в разных соотношениях биомассы и угля (таблица 4.3).

Таблица 4.3- Окускованное малоплотное биобуроугольное топливо (ОМБТ) в разных соотношениях биомассы и угля

№ п/п	Показатели	Окускованное малоплотное биобуроугольное топливо (ОМБТ) в разных соотношениях биомассы и угля			
		ОМБТ-1	ОМБТ-2	ОМБТ-3	ОМБТ-4
1.	Содержание биомассы в % Ветки Стебли кукурузы Солома	10	5	5	
2.	Содержание угля, %	75	80	80	85
3.	Содержание связующего, %	15	15	15	15
4.	Прочность брикета, МПа	3	2,4	2,6	3,5

Эксперименты показали [164-166], что даже при суммарном количестве глинистого связующего в угле до 40 %, ОМБТ является эффективным котельным и печным топливом, что позволяет решить задачу топливного использования: высокозольных угольных отсевов (с зольностью свыше 15-20%), которые из-за полного отсутствия на них спроса в больших объемах скапливаются на карьерах и считаются отходами угледобычи.

Положительная роль установленных нормативных параметров ОМБТ заключается в следующем: малая плотность обеспечивает высокую пористость топлива, которая позволяет летучим компонентам свободно удаляться из кусков; добавки биомассы увеличивают реакционную

способность горения топлива, снижают количество серных выбросов; глинистое связующее обеспечивает термостойкость, при нагреве выделяет газы для газификации полукокса, уменьшает количество вредных дымовых выбросов.

Возможность выпуска разнообразных по составу, форме и размерам топливных брикетов обеспечивает удобство их использования в различных сферах малой теплоэнергетики.

#### **4.1.1. Определение параметров эффективного сжигания КТТ**

На территории научно-производственной базы института КИПР ЮО НАН КР была построена крупномасштабная модель напольной печи - печь для обжига глиняных изделий [167]. Были оговорены следующие экспериментальные условия сжигания топлива:

- топливо - ОМБТ с количеством глинистого связующего (лессовидный суглинок) 15% от веса угля и биомассы,

- режим зажигания и горения - форсированный [167],

- разовая порция топлива 50 кг,

- длительность цикла горения разовой порции топлива - 1 час.

Цикл горения разовой порции топлива состоял из закладки топлива в топку (5 минут), зажигания слоя (5 минут), основного горения (45 минут), в течение которого дважды производилась шуровка слоя, очистки топки от твердых продуктов сгорания (спеченного шлакозольного агломерата) при выключенном вентиляторе (5 минут), продувки топки перед закидкой очередной порции топлива (10 секунд). Всего был проведен обжиг более 15 опытных партий кирпича-сырца. В каждой партии обжигалось 700 штук кирпича (общая масса 2,1 тонны). Общая длительность нагрева и обжига каждой партии кирпича — сырца составляла 10 часов, за это время осуществлялось сжигание 10 разовых порций топлива весом 50 кг каждой.

В таблице 4.4 приведены результаты замера температуры.

Таблица 4.4 – Температуры обжига окускованного малоплотного биобуроугольного топлива

№ п/п	Вид использованного топлива	Температура внутри топки °С.			Температура в камере обжига, °С		
		3 час.	5 час.	10 час.	3 час.	5 час.	10 час.
1	ОМБТ-1	600	900	950	200	700	850
2	ОМБТ-2	570	800	930	180	580	790
3	ОМБТ-3	540	830	900	160	600	730
4	ОМБТ-4	560	860	950	180	660	800
5	Уголь штыб Жатан.	450	670	800	120	440	620

В первые 3 часа температура в топке на расстоянии 40 см от поверхности горящего слоя составляла 600°С (ОМБТ-1) и 450°С (штыб) при температуре внутри слоя свыше 1000°С (ОМБТ-1) и 700°С (штыб), в этот период из кирпича-сырца интенсивно выделялись пары воды, температура внутри рабочей камеры составляла 150 - 200°С.

В последующие 5 часов температура топочных газов на расстоянии 40 см от поверхности горящего слоя стабильно держалась в интервале 800 ÷ 900°С (ОМБТ-1,2,3,4) и 600-700°С (штыб), температура внутри рабочей камеры плавно повышалась от 200 до 700°С (ОМБТ-1,2,3,4) и от 120 до 450°С (штыб), в конце этого периода вся масса кирпича светилась темно-красным цветом. Было особо отмечено, что горение ОМБТ в форсированном режиме является экологически чистым - без дымовых, пылевых и серных выбросов, при минимуме потерь от механического и химического недожога. Твердые продукты сгорания топлива были в виде высококачественного шлака-аглопорита и обожженной глины.

В последние 2 часа обжига температура над горящим слоем (на расстоянии 40 см от поверхности слоя) составляла свыше 900°С (ОМБТ-

1,2,3,4) и 800°C (штыб), вся масса кирпича светилась ярко-красным цветом, температура газов, выходящих из отверстий в своде печи, составляла более 300°C, а скорость их истечения - 6-7 м/с. Температура поверхности свода составляла свыше 100°C, а поверхности стен - 40°C.

По истечению 10 часов топочный процесс прекращался, все отверстия в печи замазывались глиной, садка медленно остывала в течение 1 суток, после чего вскрывался временный свод и кирпичи вытаскивались из печи.

Было проведено сравнение полученной в печи керамики кирпичей с эталонами из муфельной печи. Установлено, что температура первых 3-4 рядов кирпичей в садке достигала 900 - 950°C, в кирпичах остальных рядов максимальная температура нагрева составляла 700 - 800°C (ОМБТ-1,2,3,4) и 500 - 600°C (штыб). Необходимо учесть тот факт, что обжиг кирпича-сырца производился в печи чрезвычайно несовершенной конструкции (очень большие тепловые потери).

### **Термохимические технологии выработки тепла из ОМБТ.**

Достижение требуемого эффекта имеет место в случае проведения процесса горения ОМБТ в одном из двух режимов: 1) режим форсированного (скоростного) горения; 2) режим медленного (длительного) горения. Условия протекания этих режимов отличаются по скорости сжигания топлива, температуре внутри горящего слоя, интенсивности пламени.

Форсированный режим горения [167] характеризуется созданием внутри горящего слоя турбулентных потоков газов, что на практике достигается принудительной подачей воздуха в горящий слой при помощи вентилятора. Целью форсированного режима является достижение, как можно более высоких температур отходящих топочных газов за счет скоростного сжигания топлива. Традиционно используемые населением бытовые печи легко могут быть дооборудованы для ведения форсированного режима горения: достаточно использовать в топочном процессе переносные бытовые вентиляторы малой мощности.

В испытаниях форсированного горения ОБМТ, проведенных в топках водяных котлов и бытовых слоевых печах, установлена возможность получения температуры отходящих топочных газов в интервале 600 - 900°С в течение длительных промежутков времени (до 1 суток), что позволяет рекомендовать применение ОБМТ в качестве: котельного топлива., причем с гораздо большей эффективностью., чем при традиционно используемом способе слоевого сжигания угольных отсеков в россыпном виде; печного топлива при приготовлении пищи в больших объемах, как альтернативы дровам и кусковому углю; топлива для производственных печей, в которых: осуществляются тепловые процессы до 1000°С; основного топлива для сельских бань и прачечных; топлива при скоростном нагреве воды в системе отопления индивидуальных домов.

Медленный режим горения ОБМТ характеризуется ламинарными потоками газов внутри горящего слоя, что имеет место в случае поступления воздуха в слой от естественной тяги. Горение топлива происходит за счет одновременного протекания двух процессов: диффузионного горения; сгорания в пустотах между кусками топлива летучих компонентов, постепенно выделяющихся из кусков топлива по мере их прогрева, Для поддержания медленного горения важным условием является оптимальный температурный фон в горящем слое и свободный доступ воздуха в слой. Для медленного режима горения ОБМТ характерны следующие положительные свойства: бездымность, горении; без образования пламени над горящим слоем, равномерное выделение тепла в течение: длительного промежутка времени, температура поверхности защитных тонколистовых металлических кожухов топки не превышает 150°С, но при этом внутри горящего слоя температура достигав 600 °С; в процессе горения брикеты сохраняют свою форму, практически полностью выгорает органическая масса. Длительность горения разовой порции топлива составляет от 1/4 до 1/2 длительности суток. Медленный режим оптимален в бытовых отопительных печах [167].

По аналогии с режимами горения ОМБТ проведена типизация способов его зажигания, также разделяемых на форсированный и медленный. Практическую значимость имеет форсированный способ зажигания ОМБТ, обеспечивающий быстрое и бездымное разжигание топлива.

#### **4.1.2. Совершенствование бытовых топочных устройств с целью повышения эффективности горения ОМБТ**

Отопительные и варочные печи могут быть дооснащены вентиляторами с электрическим или ручным приводом: [167,168,169], что в топочном процессе с ОМБТ позволяет достигнуть: максимальной температуры топочного газа на выходе 600-900°C, бездымного горения и возможности управления интенсивностью горения, эффективного бездымного сжигания и разжигания топлива с повышенной влажностью и зольностью.

Для медленного режима горения ОМБТ, предпочтительного при отоплении производственных и жилых помещений, разработана упрощенная конструкция переносной печи длительного горения [167] простой конструкции, с использованием кассетного принципа размещения топлива в печи. Изменяя размеры и форму печи, получим отопительные устройства различного функционального назначения: 1) для отопления жилых и производственных помещений, 2) для прогрева техники в зимнее время; 3) для обогрева сиденья продавца магазина-контейнера, 4) для подогрева готовой пищи; 5) для обогрева биогазовой установки в зимнее время.

Присоединение к бытовой печи малогабаритного двигателя внешнего сгорания (двигателя Стерлинга) дает возможность преобразования части тепловой энергии горения ОМБТ в механическую и электрическую энергию, мощность которых является достаточной для обеспечения работы вентилятора и освещения рабочего места [167].

#### **Экологические преимущества использования ОМБТ**

Глина, входящая в состав ОМБТ, позволяет в значительной степени уменьшить дымовые выбросы в атмосферу в процессе горения топлива. Это подтверждают и эксперименты, проведенные зарубежными исследованиями (в Таиланде, КНР, Польше, Пакистане).

Добавки растительной биомассы и гашеной извести к бурому углю позволяют существенно уменьшить эмиссию  $SO_2$  в процессе горения ОМБТ.

Твердые остатки сгорания ОМБТ (шлаки, обожженная глина, зола) являются высококачественным легким наполнителем, отвечающим требованиям ГОСТ 266-44-86 "Щебень и песок из шлаков ТЭЦ для бетона". Насыпная плотность пропущенного через дробилку шлака составляет  $355 \text{ кг/м}^3$ , потеря при прокаливании — 3,55%, потеря силикатного распада - 5,8%, потеря железистого распада - 3,7%. Установлена возможность получения из шлака в и обожженных глин гидравлического вяжущего по ГОСТ 2544-76 "Вещества вяжущее, известь содержащие гидравлические".

*Выводы:*

1. Разработана и экспериментально осуществлена экологически безопасная и простая в техническом отношении технология получения тепловой энергии, основанная на совместном использовании биомассы и угольной мелочи.

2. Разработан, экспериментально проверен и внедряется в хозяйственную и бытовую сферы новый вид композиционного топлива. (ОМБТ), отличающийся рядом преимуществ по сравнению с существующими видами: малой себестоимостью; хорошими теплотехническими характеристиками; большей безопасностью в экологическом отношении.

3. Экспериментально подтверждена возможность применения ОМБТ в качестве эффективного топлива в тепловых технологических процессах малых производств (обжиг кирпича и черепицы, баня-прачечная, котельная

общественных зданий, промышленная сушка овощей и фруктов, обогрев биогазовых установок и др.).

4. Проведены испытания ОМБТ в бытовых слоевых печах различной конструкции, подтверждающие, что ОМБТ по своим теплотехническим качествам не уступает крупнокусковому сортовому углю и дровам.

#### 4.2. Получение КТТ с применением твердого остатка образующегося в процессе пиролиза полимерных отходов (ПО)

Для получения КТТ с хорошей теплотворной способностью проведены исследования по улучшению состава топлива твердым остатком пиролиза полимерных отходов (ПО)[170]. Были определены температурные режимы и оптимальные параметры процесса пиролиза полимерных отходов (пакеты, изделия, пленки и др.).

Пиролиз проводили при медленном нагреве со скоростью 20-25 °С в температурном режиме от 100 до 800 °С по стандартной методике [171] и на лабораторной установке.

В таблице 4.5 приведены усредненные показатели выхода продуктов пиролиза в интервале температур 200-800 °С.

Таблица 4.5- Усредненные показатели выхода продуктов пиролиза в интервале температур 200-800 °С.

№ п/п	Исследуемое вещество	Масса взятой пробы, г.	Выход продуктов в %, при температуре °С;							
			200		400		600		800	
			Тв. остаток	Газ	Тв. остаток	Газ	Тв. остаток	Газ	Тв. остаток	Газ
1.	Полиэтиленовые пленки, пакеты	500	94,0	4,9	71,0	25,9	45,1	43,9	4,4	89,1
2	Пластмассовые изделия:	500	99,3	0,9	80,7	16,3	51,4	41,6	7,5	82,6

Таким образом, проведенными исследованиями установлено, что процесс пиролиза ПО, в интервале температур 400-600°C, позволяет получать твердый остаток, который на 90% состоит из углерода и пригоден в качестве горючего компонента КТТ. Выделяющийся горючий газ можно использовать для энергетических нужд.

Были исследованы процессы получения КТТ из смеси угля (бурый уголь марки БЗ), твердого остатка полимеров и связующего (глина). Изучены основные факторы, влияющие на прочность КТТ.

Значительную роль в процессе окускования композиционной смеси играет частиц угля и твердого остатка ПО. Исследования показали, что оптимальная величина крупности твердого остатка ПО составляет 0,25-1 мм при влажности смеси 18-20%.

Объясняется это тем, что при окусковании тонко измельченного материала количество взаимодействующих поверхностно-активных контактных групп значительно возрастает, что и приводит к увеличению прочности.

Определены теплотехнические характеристики КТТ с различным содержанием твердого остатка ПО, при этом содержание связующего материала оставалось неизменным и равнялось 20 %, т.к. данное содержание, как было установлено предыдущими исследованиями [2], является оптимальным (таблица 4.6).

Таблица 4.6- Теплотехнические характеристики КТТ

№ п/п	Показатели	Композиционное топливо						
		1	2	3	4	5	6	7
1	Содержание ост. ПО, в %	0	5	10	15	20	25	80
2	Содержание угля, %	80	75	70	65	60	55	0
3	Содержание связующего, %	20	20	20	20	20	20	20
4	Прочность брикета, МПа	0,3	0,30	0,33	0,32	0,35	0,29	0,15

3	Теплотворность $Q_b$ , МДж/ кг.	18,3	18,4	18,9	19,5	20,0	20;3	23,1
5	Температура вспышки,	560	560	550	550	535	520	450
6	Длительность горения (сгорание 1 кг топлива) час.	1-1,5	1-1,5	1,3	1,2	1,1	1	0,5

Таким образом, установлено, что оптимальное количество тв.остатков ПО в составе КТТ составляет до 20%, что приводит к увеличению теплотворности топлива и улучшению его качественных характеристик.

### 4.3. Управление горениями КТТ

Для бытовых нужд населения, для предприятий сельского хозяйства и для муниципальных котельных наиболее востребованным оказался КТТ под аббревиатурой - ФУБ (формованный угольный брикет) [171-173],

Брикет ФУБ формируется двумя способами:

1.Способ изготовления вручную - послойная набивка смеси в съемную форму-опалубку, последующая распалубка сформованного брикета и сушка при температуре 20 -80 °С (см. рисунок 4.1.)



Рисунок 4.1 - Послойная набивка смеси в съемную форму – опалубку, естественная сушка брикетов, складирование.

2. Механизированный способ - уплотнение смеси на специальном прессе, в пресс-форме, последующее выталкивание из нее сформованного брикета и сушка при температуре 20 - 80°С (см. рис.4.2.).



Рисунок 4.2 - Уплотнение смеси на специальном прессе в пресс-форме, брикеты со сквозными дырками.

Форма и размеры брикета ФУБ определяются используемой формой-опалубкой или пресс формой.

Теплотехнические характеристики ФУБ зависят от марки угля и могут искусственно регулироваться процессы сжигания путем использования композиций из углей различных марок, а также введением в состав КТТ растительной биомассы. Примеры сведены в таблице 4.7.

В целях полезного использования низкосортной мелочи бурого угля нами проводились брикетирование и испытание на сжигания полученных брикетов[173].

Мелочь бурого угля месторождения Жатан брикетировал с мелочью каменного угля месторождения Кумбель в разных соотношениях. В качестве

Таблица 4.7-Теплотехнические характеристики ФУБ

№ при мера	Состав ФУБ и параметры способа их переработки			Формовки и их параметры	
	Состав компонентов и добавок, мас. %	Влажность компоненто в, %	Вид сушки, давление формования	Механическая прочность формовок, %	Влажность формовок, низшая теплота сгорания
1	Бурый уголь- 70 глина высоко пластичная - 10 каменный уголь - 20	10 25-30 10	Сушка в естественных условиях. Влажность высушенной смеси 10-15%. Давление формования 1 МПа.	90	Влажность формовок- 18-22%; 4000-4500ккал/кг
2	Бурый уголь- 50 – глина высоко пластичная -10 каменный уголь - 40	10 25 10	Сушка в естественных условиях. Влажность высушенной смеси 10-15%. Давление формования 1 МПа.	90	Влажность формовок 18-22%: 5000- 5500ккал/кг
3	Бурый уголь - 70 Опилки - 10 глина высоко пластичная - 20	10 50 25	Сушка в естественных условиях. Влажность высушенной смеси 10-15%/ Давление формования	80	Влажность формовок 18%; 4500- 4800ккал/кг
4	Бурый уголь - 60 Дробленая солома — 10 Дробленые листья и стебли подсолнечника — 10 глина высоко пластичная - 20	10 10 10 25	Сушка в естественных условиях. Влажность высушенной смеси 10-15%. Давление формования 2 МПа.	80	Влажность формовок 15%; 4500- 5000ккал/кг

связующего вещества использовали лессовидный суглинок. В таблице 4.8 приведены технические характеристики углей Кумбель и Жатан.

Таблица 4.8- Технические характеристики углей Кумбель и Жатан.

№	Месторождение угля	Марка угля	W <sup>a</sup>	A <sup>a</sup>	V <sup>daf</sup>	Q ккал/кг
			в %	в %	в %	
1	Кумбель	Г	9,1	12,8	37	8000
2	Жатан	БЗ	10,2	23	42	4500

Мелочь угля размером меньше 6 мм месторождения Жатан как топливо в бытовых топках не используется. Причиной того является низкая теплотворность и высокая зольность. Во время сжигания штыба наблюдается высокая дымленность и провал пол ко ник около 60-70% мелочи угля. Во многих семьях после просеивания крупного сорта угля мелочь выбрасывают в мусор, то есть не могут его использовать для выработки тепла.

Для получения высококалорийного топлива из угля Жатан добавлены мелочи угля месторождения Кумбель, который является более калорийным в определенном соотношении.

Приготовили угольные брикеты нижеследующего состава.

Таблица 4.9- Брикеты из углей Жатан и Кумбель

№	Содержания угля месторождения Кум-Бел в %	Содержания угля месторождения Жатан в %	Содержания глины в %	Всего, в %
1	90	0	10	100
2	80	10	10	100
3	70	20	10	100
4	60	30	10	100
5	50	40	10	100
6	40	50	10	100
7	30	60	10	100
8	20	70	10	100
9	10	80	10	100
10	0	90	10	100

Содержание связующего материала не изменялся. Было приготовлено 10 разновидностей брикетов. Средний вес брикета составлял от 40 до 50 г.

Испытания горения брикетов в отопительных печах слоевого сжигания Сжигание проводили в печах для отопления. Габаритные размеры камеры сгорания печи составил 250x300x400 мм.

#### Методика проведения испытания

В начале каждого опыта измеряли вес сжигаемого брикета. Для испытания взяты брикеты массой 5кг из каждого варианта. По предварительным расчетам для разжигания 5 кг топлива, достаточно 0.5 кг древесины. Заранее подготовили древесины по 0,5 кг для каждого опыта. С целью обеспечения эффективного горения брикетов, нами расчетным путем определены размеры брикетов и при их испытании готовились по тем размерам, т.е. 20-50 мм. Горения окускованного топлива осуществлялось по традиционной технологии. Температура в печи измерялось с помощью хромель-алюмеловых стандартных термопар.

После завершения испытания взвешивали массу оставшегося после горения твердого остатка - золы и шлака. Опыт прекращали тогда, когда над горящим брикетом температура показывал 100-120°C. В ходе испытания проводились визуальные наблюдения с целью установления качества горения методом свечения [173]. Результаты испытаний приведены в таблице 4.10

Таблица 4.10- Горение брикетов

№ п.п.	Состав брикета в %	Вес, кг	Вес золы, кг	Время горения, час	Темп, над брик. °С	Горюч. т вступ. реак.	Горюч. т не вступ. реак.	Визуальные наблюдения
1	ШЖ	5	3,4	4	460	32	45	Дымит, провал под колосник, запах
2	ШК	5	2,1	8	740	60	18	Провал под колосник. Горит с пламенем в местах шуровки.
3	Ж-90, Г-10	5	2,9	6	760	42	30,7	Горит с пламенем, отсутствует провал под колосник

4	Ж-80, К-10, Г-10	5	2,8	6	760	44	26,3	Горит хорошо с пламенем.
5	Ж-70, К-20, Г-10	5	2,3	6,5	800	50	21,4	Горит с ярким пламенем, высокая темп, в середине
6	Ж-60, К-30, Г-10	5	2,2	6,5	810	56	16	Горит хорошо, без дыма, запаха
7	Ж-50, К-40, Г-10	5	2,1	7	800	58	15,3	Горит хорошо, без дыма, длинным пламенем.
8	Ж-40, К-50, Г-10	5	2	7	830	60	14	Горит с длинным пламенем. Выс. темп, в камере
9	Ж-30, К-60, Г-10	5	1,9	7,5	820	62	13,3	Горит очень хорошо.
10	Ж-20, К-70, Г-10	5	1,6	7,7	840	68	8,3	Горит с длинным пламенем. Без провала под колосник. Легкое шуровка
11	Ж-10, К-80, Г-10	5	1,6	7,8	850	68	9,3	Свечение по всему объему камеры горения
12	К-90, Г-10	5	1,5	8,5	880	70	8,4	Свечение по всему объему. Отсутствие провала под колосник. Отсутствие дыма.

Примечание: Ш- штыб угля, размером меньше 13мм.

Ж- уголь месторождения Жатан,

К — уголь месторождения Кумбель,

Г- глина.

Как видно из таблицы 4.10с возрастанием количества добавляемого угля Кумбель в состав брикета улучшается его горение. При сжигании штыба месторождения Жатан только 32% горючей массы горели. Остальные 45% не вступили в реакцию горения. При добавлении 10% глины процентное содержание вступившего в реакцию горения горючей массы возрос до 42%.

Также увеличивается время горения с добавлением 10%глины. Наблюдается повышение температуры горения над брикетами. Уменьшается провал под колосник угля. Отсутствует дымление печи. Итак, при брикетировании со связующим веществом глиной - углей месторождения

Жатан и Кумбель, с увеличением содержания в составе - мелочи каменных углей увеличивается время горения брикета, а так же увеличивается сгорания горючей массы, повышается температура в топочной пространстве.

### **Исследование зависимости горения брикетов угля от давления прессования при изготовлении брикета**

Давления прессования является один из основных факторов, влияющих на эффективность горения брикетов [173].

С целью установления влияния давления прессования к процессу горения брикетов нами проводились экспериментальные исследования в топке слоевого сжигания.

Приготовлены брикеты следующего состава:

К-30, Ж-60, Г-10;

К-40, Ж-50, Г-10;

Ж-90, Г-10;

*Примечание:* К-Кумбель, Ж- Жатан, Г — глина.

При изготовлении вышеуказанных брикетов осуществлены давления прессования в двух вариантах: первое - 10 кгс/см<sup>2</sup>, второе - 50 кгс/см<sup>2</sup>.

Сжигание брикетов произвели по вышеуказанному методу. По результатам видно, (таблица 4.11), что с увеличением давления прессования брикет получается более прочно и плотно. При сжигании они горят медленно и долго, но в середине остается несгоревшие части угля.

Таблица 4.11 – Результаты горения угольных брикетов

№ п/п	Состав брикета	Вес, к г	Давление прессования, кгс/см <sup>2</sup>	Время горения, час	Вес золы, кг	Визуальные наблюдения горения
1	К-30, Ж-60, Г-10	5	10	6,8	2,3	Горит с ярким пламенем
2	К-30, Ж-60, Г-10	5	50	8	3,2	Горит медленно, внутри остаются несгоревшие части угля

3	К-40, Ж-50, Г-10	5	10	6,8	2	Горит быстро, с ярким пламенем
4	К-40, Ж-50, Г-10	5	50	8,5	3,1	Часть брикета остаются несгоревшими
5	Ж-90, Г-10	5	10	6	3	Горит без дыма, пламенно
6	Ж-90, Г-10	5	50	7	3,5	Горит долго, выход пламени медленный, остается несгоревшие части угля

*Примечание:* Ж - уголь месторождения Жатан, К - уголь месторождения Кумбел, Г — глина.,

#### *Выводы:*

Для получения высококалорийного буроугольного брикета с глинистым связующим, можно брать низкосортную мелочь угля (месторождения Жатан в нашем случае) и мелочь каменного угля в количестве 30-40%), зольностью ниже 13%, и летучесть выше 30%.

Установлена зависимость горения брикета от давления прессования. Для бытовых печей с естественной подачей воздуха, оптимальное давление прессования брикета при изготовлении 10 кгс/см .

Установлено, что смещением мелочей низкосортных и каменных углей Кыргызстана, можно улучшить коэффициент полезного использования мелочи угля.

Установлено, что 10% содержание глины в составе брикета достаточно для обеспечения прочности получаемой продукции в бытовых условиях.

#### **4.4. Технология получения дешевого топлива из буроугольных брикетов в усовершенствованных печах**

Суть предлагаемой нами технологии получения тепла из буроугольных брикетов[173], возможно, выразить следующей формулировкой: «Дешевое

топливо в сочетании со специальными технически доступными устройствами для его эффективного сжигания».

Теоретический расчет горения в бытовой печи является более сложным по сравнению с расчетом промышленных топок. Известный специалист по топочным процессам профессор Г.Ф. Кнорре отмечал [174]: «Сложность процесса топок пока еще не позволила создать полноценную всеобъемлющую теорию, на базе которой можно было бы разработать методику его надежного расчета. Наилучшим методом реализации новых принципов топочного процесса является его опытная проверка на экспериментальном стенде небольшого размера (при умеренных расходах рабочих веществ) позволяющем проводить экспериментирование для нахождения оптимальных режимных и конструктивных соотношений. Затем производится проверка полученных результатов на опытном промышленном агрегате».

Нами были критически проанализированы недостатки традиционных бытовых печей при слоевом сжигании брикетов на неорганическом связующем разработаны технические приемы их устранения. Суть отмеченных недостатков и причин, их порождающих, сводится к следующему (см. таблицу 1).

Таблица 4.12- Недостатки существующих бытовых печей, их причины и способы устранения

	Недостатки	Причина	Способ устранения
	2	3	4
1	Медленный прогрев топлива от ранее зажженного топлива, отсутствие воспламенения летучих (дымление)	Недостаточная температура в камере сгорания, уменьшение проницаемости воздуха через слой	Разработать способ -быстрого подъема температуры сгорания, увеличить количество продуваемого через слой воздуха
2	Слабая неравномерная по площади интенсивность горения	Недостаток обеспечения горящего топлива полезным воздухом	Разработать способ равномерного достаточного снабжения воздухом горящего топлива

3	Отрыв и вынос горящих частиц при интенсивном горении	Малое количество неорганических связующих в брикете	Количество связующего должно обеспечить невозможность отрыва горящих частиц
4	Отсутствие шлакования горящих брикетов	Малая температура на поверхности горящих брикетов	Разработать способ более интенсивного протекания горения на поверхности брикетов
5	Отсутствие воспламенения газов при газификации угля	Отсутствие высоко-температурного источника зажигания газов	Обеспечить высоко-температурный источник зажигания газов
6	Неполное сгорание брикетов	Слишком большой размер закладываемых в печь брикетов	Размер закладываемых в печь брикетов должен быть оптимальным
7	Снижение интенсивности горения топлива после выделения летучих	Изменение в худшую сторону аэродинамического режима продувки слоя	Необходима шуровка горящего слоя
8	Малоэффективное управление интенсивностью горения за счет изменения естественной силы тяги	Слабая сила естественной тяги воздуха, даже при высокой дымовой трубе	Необходим источник принудительной подачи воздуха

#### **4.5. Технологическая схема брикетирования низкосортных углей и отходов угледобычи с активированными связующими**

На основе полученных результатов исследований нами разработана промышленная технология брикетирования отходов угледобычи месторождений Жатан, Кызыл-Булак и Кожо-Келен с активированной глиной, лессовым суглинком и гуматами.

На рисунке 4.3 показана блок схема промышленной технологии брикетирования угольной мелочи с неорганическими связующими.

Она в основном состоит из бти этапов (этапы показаны римскими цифрами). Первые два этапа состоят из подготовки угольной мелочи и активации связующего.

На третьем этапе осуществляется смешивание всех компонентов шихты.

На четвертом этапе осуществляется брикетирование (прессование) шихты, а на пятом и шестом – сушка и складирование брикетов.

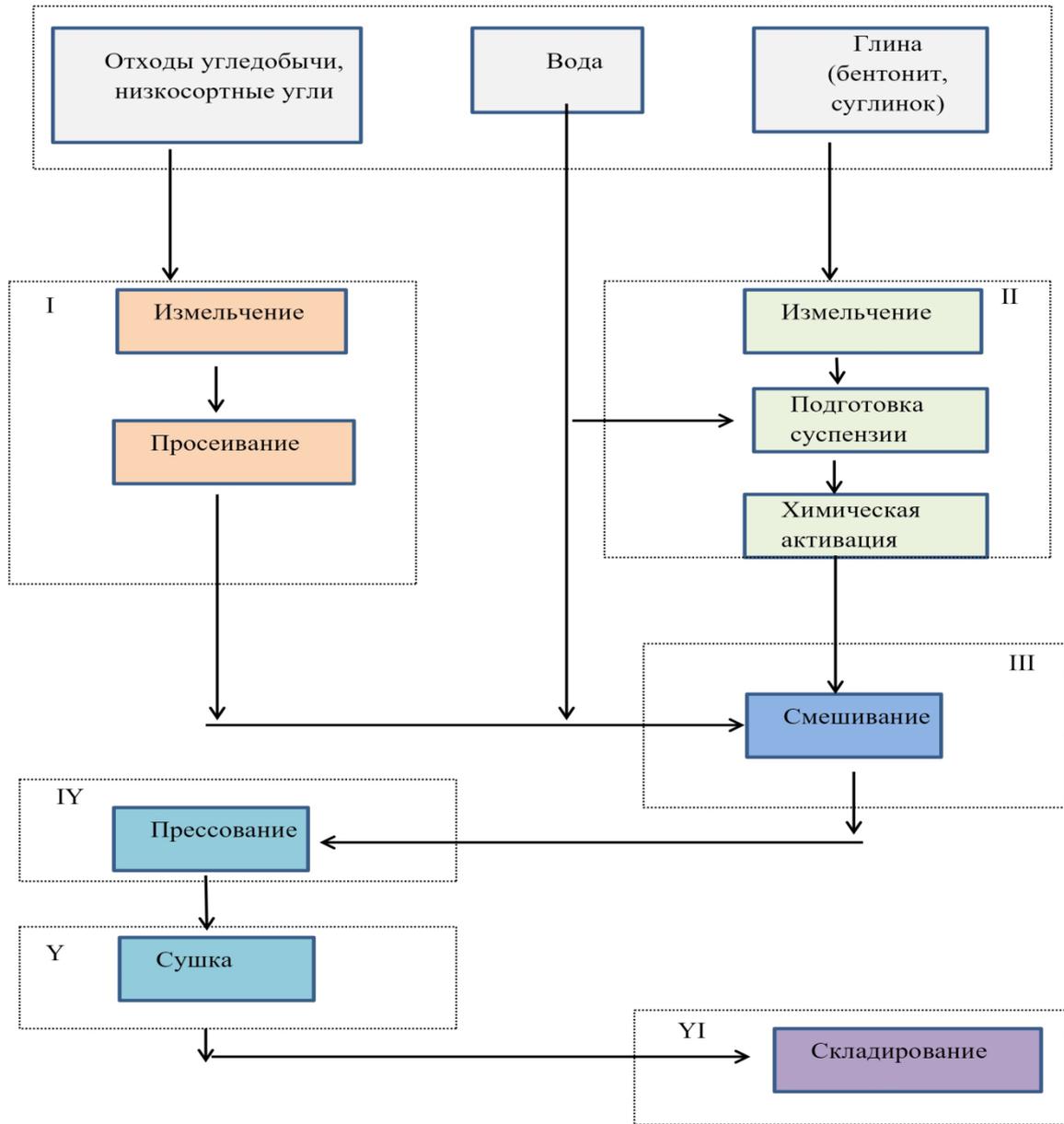


Рис.4.3 - Блок-схема промышленной технологии брикетирования угольной мелочи с неорганическими связующими

Технологическая схема брикетирования с глиной и лессовым суглинком показана на рис. 4.4.

Отходы угледобычи, низкосортный угольный мелочь 1 (0-13 мм) из места добычи транспортом 2 поступает в дробильно- сортировочное отделение, где подвергается предварительному грохочению на грохоте 3, надрешетный продукт которого додрабливается в дробилке 4 и подается в смеситель 5.

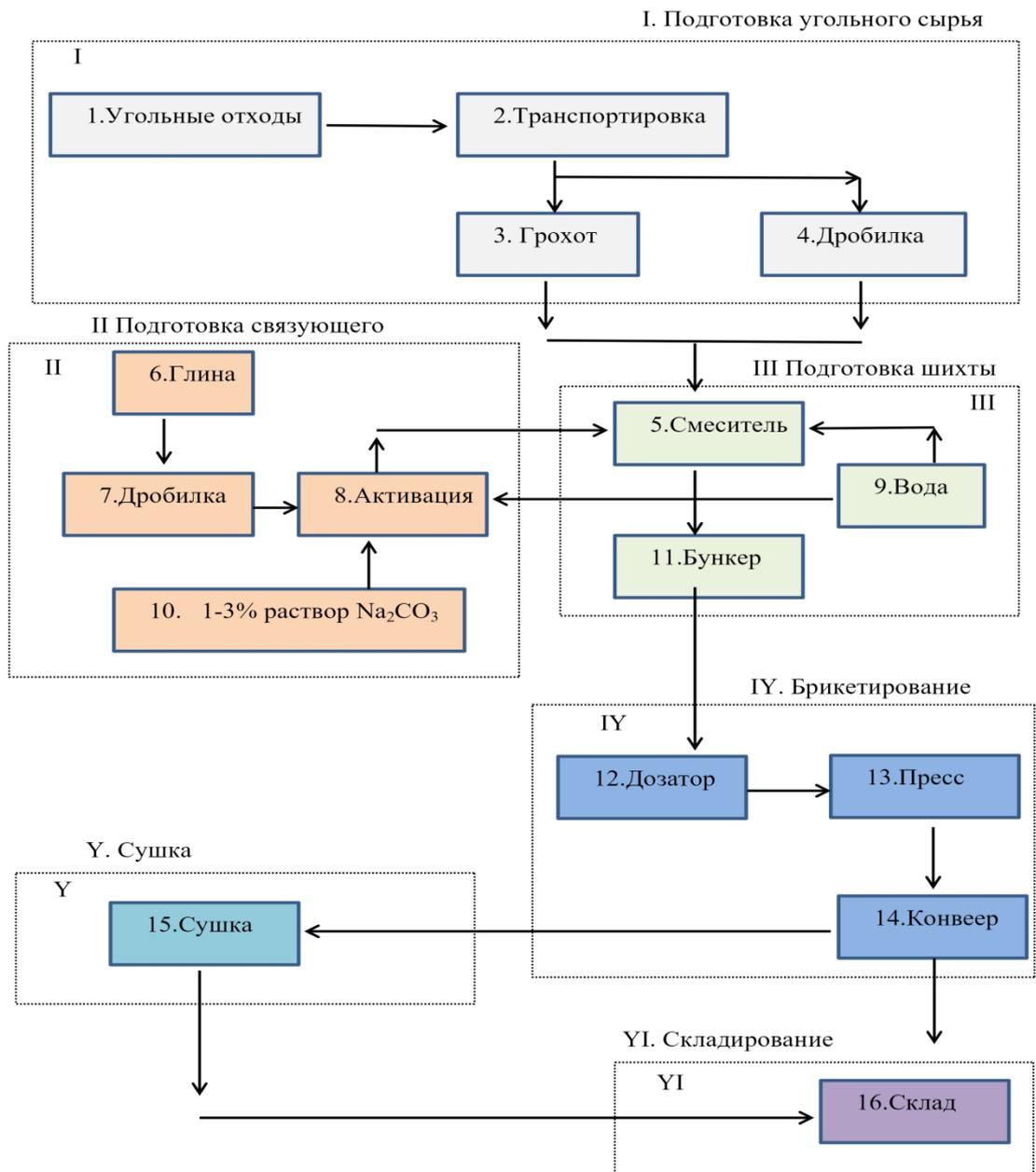


Рис.4.4 - Технологическая схема промышленной технологии брикетирования углей с бентонитовой глиной и лессовым суглинком.

Бентонитовая глина или лессовый суглинок 6, измельченный в дробилке 7 подается в емкость для активации 8, подается вода из водопровода 9 для растворения глины. Из другой емкости 10 подается 1-3%ный раствор  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , после активации глиняная суспензия подается в смеситель 5. В процессе смешения угля с суспензией бентонитовой глины или лессового суглинка, в угольно- бентонитовую или угольно- суглиновый смесь подается вода из водопровода через дозирующее устройство 9. Далее, хорошо смешанная брикетная шихта поступает в бункер 10. Затем, готовая шихта подается через дозатор 11 в пресс 12, где прессуется под определенным давлением. Брикет, выходящий из пресса поступает на конвейер 13 для сушки в сушильные установки 14 в осеннее- зимнее время. В летний сезон брикеты сушатся естественной сушкой. Готовые брикеты транспортируются конвейером 15 к пункту погрузки или складываются на складах 16, где происходит дополнительная подсушка брикетов.

Нами исследованы механические, теплотехнические и другие характеристики брикетов, полученных на опытно-полупромышленной установке.

При одинаковых параметрах компонентов шихты и условиях прессования, брикеты, полученные в лабораторных условиях и на опытно-полупромышленной установке, имеют близкие механические и теплотехнические характеристики.

Для сравнения параллельно испытывался сортовой уголь. Результаты экспериментов приведены в таблицах 4.13 и 4.14.

В таблице 4.13 приведены результаты качественных и теплотехнических характеристик полученных брикетов при полупромышленных условиях. Как видно из таблицы, брикеты, полученные с бентонитовой глиной и лессовым суглинком являются не влагоустойчивыми, а термостойкость и длительность горения брикетов со

связующим из бентонитовой и лессовой глины больше, чем у брикетов без связующего.

Определение температуры вспышки, воспламенения брикетов и длительность горения проводилось на специально сконструированном печке для сжигание.

Как видно из таблицы 4.14, время вспышки и воспламенения брикетов составляют 8-12 и 10- 15 мин при температурах 500-600 °С. Сортной уголь воспламеняется за 3-4 мин соответственно при температурах 400-450 °С, но горение ее сопровождается длительным коптящим дымом. При сжигании брикетов, полученных с глиной время выделения дыма сокращается и до воспламенения их коптящий дым прекращается. Неорганические связующие способствуют улавливанию вредных веществ при горении. Продолжительность горения брикетов увеличивается на 1,5- 2,0 часа, чем у сортных углей. Происходит процесс тления брикетов и поэтому коэффициент термостойкости на долгое время остается неизменным.

Теплотворность брикетов с неорганическими связующими из углей месторождений Жатан, Кожо-Келен и Кызыл\_Булак, как и следовало ожидать, несколько меньше теплотворности брикетов, полученных без связующего. Так если  $Q$  брикетов из Кызыл-Булакских углей без связующего составляет 20,3 МДж/кг, то брикеты, полученные бентонитовой глиной имеет  $Q$  19,5 МДж/кг, т.е. меньше на 6-7%.

Сравнительные теплотехнические характеристики угля и брикетов, полученных без связующего и с неорганическими связующими приведены в табл. 4.14.

Таблица 4.13 - Сравнительные теплотехнические характеристики брикетов из отходов углей месторождений Жатан, Кожо-Келен и Кызыл-Булак с неорганическими связующими

№	Связующее	Состав С, %	Прочность Брикетов Р, МПа	Тепло- творность Q <sub>Б</sub> , МДж/кг	$\frac{Q_U}{Q_B}$ %	$\frac{Q_B}{Q_{BC}}$ %	Золь- ность А, %	$\frac{A_{BC}}{A_B}$ %	Термо- стой- кость (визу- альное)	Водо- устой- чивость (визу- альное)
Брикеты из отходов углей месторождения Жатан										
1	Без связующего, Q <sub>У</sub>	-	0,5-1,0	16,7	4,0	0	29,0	0	-	-
2	Бентонитовая глина	10	2, 7- 3, 0	16,3	9,0	4,8	36,0		+	±
3	Бентонитовая глина после активации	10								
4	Лессовый суглинок	8	2, 5- 2, 8	16,6	8,4	4,2	36,6	10	+	+
5	Лессовый суглинок после активации									
Брикеты из отходов углей месторождений Кожо-Келен										
1	Без связующего, Q <sub>У</sub>	-	2,1- 2, 5	20,4	9,4	0	17,5	0	-	-
2	Бентонитовая глина	7	2, 7- 3, 4	19,6			22,3		+	±
3	Лессовый суглинок	8	2, 7- 3, 1	19,2			24,7		+	+

Теплотворность угля месторождения Жатан Q<sub>У</sub> = 16.7МДж/кг  
 Теплотворность угля месторождения Кожо-келен Q<sub>У</sub> = 20.4 МДж/кг  
 ± - частично водоустойчивы

+ - термостойкие, водоустойчивые  
 - - не термостойкие, не водоустойчивые

Таблица 4.14 -Сравнительные результаты сжигания брикетов из Жатанского и Кожо-Келенского углей с неорганическими связующими

№	Виды топлива	Время, мин.		Температура, °С		Выделение дыма		Длительность горения, час
		вспышки	воспла-менения	вспышки	воспла-менения	мин.	визуальное	
Брикеты из Жатанских углей								
1	Сортовой	4-5	5-6	420-470	430-470	7-9	копящий	1,5-2,0
2	Брикет без связующего	4-5	5-7	420-470	430-500	7-10	копящий	1,5-2,2
3	Брикет с глиной (бентонит, лесс.)	7-9	7-12	450-500	500-550	7-10	мало дымный	3,1-3,8
Брикеты из Кожо-Келенских углей								
1	Сортовой	3-5	3-5	390-420	420-480	10-15	копящий	1,5-2,0
2	Брикет без связующего	3-5	3-5	400-430	430-450	12-14	копящий	1,5-2,5
3	Брикет с глиной (бентонит., лесс.)	6-8	6-9	430-450	450-500	10-12	мало дымный	2,5-3,5

#### **4.6. Выводы по четвертой главе:**

1. Незначительная переделка топочного пространства любой бытовой печи и дооснащения его маломощной воздуходувкой позволяет существенно повысить характеристики горения низкосортных видов топлив, в том числе и буроугольных брикетов.

2. Устройство дополнительной камеры в топочном объеме печи позволяет значительно повысить температуру при разжигании слоя. Простейшим вариантом выполнения указанного мероприятия является устройство сверху топочной камеры металлического козырька, отсекающее прямой выход газов в дымоход.

3. Оснащение печи простейшей воздуходувкой, состоящей из жестяных воздухоотводов, центробежного вентилятора и электромотора небольшой мощности (50 Ватт) в сочетании с вышеописанной дополнительной камерой позволяет устранить практически все недостатки, приведенные в таблице 1.

4. Установлено, что наиболее оптимальным способом подачи воздуха в топку является: часть воздушного потока подается под колосник (первичное дутье), а другая часть - в топочное пространство (вторичное дутье), причем вторичное дутье используется не только для дожигания газов, но и при ошлаковании поверхности брикетов, а также компенсации неравномерности распределения воздуха в верхней части горящего слоя.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Результаты диссертационной работы по разработке технологии получения композитного топлива на основе отходов угледобычи представляет собой перспективное решение проблемы использования и утилизации отходов угольных мелочей. Разработанная технология позволяет преобразовывать отходы угледобычи, в ценное топливо. Композитное топливо получается путем смешивания угольного порошка и связующего, что позволяет улучшить его характеристики, такие как теплотворная способность и стабильность сгорания. Основные преимущества получаемого топлива включают его доступность, постоянство качества и возможность использования в различных технологических процессах. Кроме того, данная технология способствует сокращению количества отходов угледобычи, что в свою очередь уменьшает экологическую нагрузку на окружающую среду. В целом, разработанная технология получения композитного топлива на основе отходов угледобычи представляет значимый шаг в области утилизации промышленных отходов и создания экологически устойчивых решений важным вкладом в сфере теплоэнергетики.

На основании проведенных исследований сделаны следующие общие выводы:

1. Установлено, что прочность композиционных топливных брикетов из углей и отходов угледобычи зависит от вида связующего, способа его дополнительной обработки, процентного содержания в КТТ, а также способа добавления связующего и условий прессования при брикетировании композита. Показано, что наиболее эффективный и прочный брикет (3,5МПа) может быть получен при малых давлениях прессования 100-200 кг/см<sup>2</sup> из угля и активированного связующего – лессового суглинка, с содержанием последнего 10 % от общей массы КТТ.

2. Впервые показано, что для получения высококалорийного бурогоугольного брикета одновременно с улучшением коэффициента полезного использования отходов угледобычи Кыргызстана, можно

использовать смесь низкосортной мелочи угля 70-60% (месторождения Жатан) и мелочи каменного угля в количестве 30-40%, которые при совместной обработке глинистым связующим обладают зольностью ниже 13%, и летучестью выше 30%.

3. Показано, что использование в качестве связующего для получения топливных брикетов гуматов натрия, аммония и силиката в виде водных растворов концентрацией от 0,1-2%, позволяет получить из мелочи углей Кыргызской Республики брикеты с прочностью порядка 3 МПа или 3,0 кг/см<sup>2</sup>. При этом наиболее эффективным связующим является ГСК.

4. Установлено зависимость горения брикета от давления прессования. Для бытовых печей с естественной подачей воздуха, оптимальное давление прессования брикета при изготовлении должно составлять 10 кгс/см.

5. Показано, что для длительного хранения (более года) угольных брикетов на основе гумата аммония рекомендуется их термообработка при температуре 200 С.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Уголь ископаемый [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.krugosvet.ru/enc/nauka\\_i\\_tehnika/tehnologiya\\_i\\_promyshlennost/UG\\_OL\\_ISKOPAEMI.html](https://www.krugosvet.ru/enc/nauka_i_tehnika/tehnologiya_i_promyshlennost/UG_OL_ISKOPAEMI.html), свободный
2. Объем добычи каменного угля и лигнита [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.stat.kg/ru/opendata/category/85/>, свободный
3. Солпуев, Т. Угольные месторождения Кыргызской Республики (справочник) [Текст] / Т. Солпуев - Бишкек: "Наси" (Мин Гео КР), 1996. – 511 с.
4. Жумалиев, К.М. Исследование и разработка технологии производства угольных брикетов для промышленных и коммунально-бытовых нужд [Текст] / К.М. Жумалиев [и др.]. Бишкек: из-во «Макспринт», 2012. – 254 с.
5. Шевердяев, О.Н. Сжигание в кипящем слое – перспективная технология для низкосортных топлив [Текст] / О.Н. Шевердяев, В.М. Гвозде, А.В. Пахомов, В.В. Желтова // Энергосбережение и водоподготовка. – 2010. – № 6. – С. 39–41.
6. Петрик, Ю.О. Гравитационно-рециркуляционная вихревая топка для сжигания высокосольного топлива / Ю.О. Петрик, П.Т. Афанасьев, А.Р. Богомолов, Г.С. Козлова, П.В. Дадонов [Текст] // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2009. – № 2. – С. 136–139
7. Zavorin, A.S. Studying the process through which gas is generated in independent power installations [Текст] / A.S. Zavorin, A.V. Kazakov, A.A. Makeev, S.V. Podorov // Thermal engineering. – 2010. – № 1. – P. 77–82.
8. Zhang, J. Technical review on thermochemical conversion based on decoupling for solid carbonaceous fuels / J. Zhang, R. Wu, G. Zhang, J. Yu, C. Yao, Y. Wang, S. Gao, G. Xu [Текст] // Energy and fuels. – 2013. – № 4. – P. 1951–1966.

9. Simonov, A.D. Industrial experience of heat supply by catalytic installations [Текст] / A.D. Simonov, N.A.Yazykov, P.I. Vedyakin, G.A. Lavrov, V.N. Parmon // Catalysis Today. – 2000. – № 1. – P. 139–145.

10. Simonov, A.D. Catalytic heatgenerating units for industrial heating [Текст] / Simonov A.D., Fedorov I.A., Y.V. Dubinin, N.A. Yazylkov, V.A. Yakovlev, V.N. Parmon // Catalysis in Industry. – 2013. – № 1. – P. 42–49.

11. Franke, G. Handbuch der Briкетtbereitung (Handbook of [Coal] Briquetting) [Текст] / G. Franke // Verlag Ferdinand Enke, Stuttgart, Germany, 1909. – 325 p.

12. Kegel, K. Aufbereitung und Briкетtierung (Processing and Briquetting [of Coal]) [Текст] / K. Kegel // Wilhelm Knapp Yerlag, Halle. - Saale, Germany, 1948. – 321 p.

13. Wolfgang P. Agglomeration Processes – Phenomena, Technologies, Equipment [Электронный ресурс]: Wiley-VCH Weinheim, Germany, 2002. —  
Режим доступа: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9783527619788>

14. Wolfgang P. Agglomeration in Industry – Occurance and Applications Volumes 1,2 [Электронный ресурс]: Wiley-VCH Weinheim, Germany, 2005. —  
Режим доступа: <http://agglomeration.org/agglomeration-books>

15. Kostakis, G. Mineral matter of lignite used in the P.P.C. Briquetting Plant at Ptolemaes (Greece) [Текст] / G. Kostakis, E. Istakidou, M. Aletakis, G. Levizos // Ber. Deut. Mineral. Ges., Beih. Eur. J. Mineral., 1994. - Vol. 6. - P. 151.

16. Messmann, H.C. Elements of Briquetting and Agglomeration // The Institute for Briquetting and Agglomeration (IBA) [Текст] / H.C. Messmann, T.E. Tibbets, R.N. Koerner, J.A. McDougall // Manitowish Waters, WI, USA, Vol. 1. - 1977. - Vol. 2. – 428 p.

17. Nikol, S.K. Pellets and Granules [Текст] / S.K. Nikol // Proc. Symp. Pellets and Granules, The Australian Inst. of Mining and Metallurgy, Newcastle, NSW, Australia, 1974. – 344 p.
18. Srb, J. Pelletization of Fines (Minerals, Ores, Coal) [Текст] / J. Srb, Z. Ruzickova // Developments in Mineral Processing, D.W. Fuerstenau, Advisory Editor, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, The Netherlands, 1988. - Vol 7. – 145 p.
19. Елишевич, А.Т. Брикетирование угля со связующими [Текст] / А.Т. Елишевич – М.: Недра, 1972. – 160 с.
20. Елишевич, А.Т. Брикетирование полезных ископаемых [Текст] / А.Т. Елишевич – Одесса: Лыбидь, 1990. – 296 с.
21. Крохин, В.Н. Брикетирование углей [Текст] / В.Н. Крохин –М.: Недра, 1974. – 216 с.
22. Исследования по брикетированию углей [Текст] / под ред. В.Н. Крохина. – М.: Наука, 1969. – 143 с.
23. Хотунцев, Л.Л. Физико-химические явления в процессах брикетирования твердого топлива [Текст] / Л.Л. Хотунцев– М.: АН СССР, 1960. – 147 с.
24. Акопов, М.Г. Некоторые вопросы теории и практики брикетирования бурых углей [Текст] / М.Г. Акопов. – М.: Углетехиздат, 1955. – 48 с.
25. Пахалок, И.Ф. Брикетирование углей [Текст] / И.Ф. Пахалок, В.А. Болдырев– М.: Углетехиздат, 1952. – 175 с.
26. Лурье, Л.А. Ископаемые угли и технология их брикетирования [Текст] / Л.А. Лурье– М.: Профтехиздат, 1961. – 288 с.

27. Шпирт, М.Я. Рациональное использование отходов добычи и обогащения углей [Текст] / М.Я. Шпирт, В.А. Рубан, Ю.В. Иткин - М.: Недра, 1990. – 224 С.

28. Линева Б.И. Технология производства брикетов из угля и продуктов его переработки [Текст] / Линева Б.И. // Сб. «Менеджмент в области экологически чистых угольных технологий». —М.: Новый век, 1998. — 172 с.

29. Рассказова, А.В. Обоснование рациональных параметров брикетирования бурого угля с применением механоактивации топливных компонентов в [Текст]: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / А.В. Рассказова– Чита, 2015. – 22 с.

30. Петрова, Г.И. Электрохимическая переработка бурых углей [Текст] / Г.И. Петрова, М.И. Бычев. – Якутск: ЯФ СО РАН, 2001. – 168 с.

31. Петрова, Г.И. Перспективы развития Кангаласского угольного района за счет создания углеперерабатывающих предприятий [Текст] / Г.И. Петрова, С.Н. Григорьев, М.И. Бычев, Л.Б. Моисеев, С.В. Боловнев, В.А. Михеев, А.М. Леонов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal), 2004. – № 11. – С. 302-304.

32. Зорин, А.С. Брикетирование бурых углей с использованием связующей коксо-асфальтовой композиции [Текст]: автореф. дис. канд. техн. наук. — Уфа, 1998. –22с.

33. Лобыч, А. М. Брикетирование коксовой мелочи со связующими и коксование частично брикетированных шихт в производстве металлургического кокса [Текст]: автореф. дис. канд. техн. наук. — Уфа, 2000. –21с.

34. Жалгасулы, Н. Особенности брикетирования бурых углей Казахстана [Текст] / Н. Жалгасулы, А. Курбанов, М.Г. Гортамысов, Г.М. Черний // Региональные проблемы устойчивого развития природоресурсных регионов и пути их решения. – Труды IV международной научно – практической конференции в 2 – х томах. – Т. 2. – Кемерово: Институт угля и углехимии СО РАН, 2003. – С. 93 – 95.

35. Наумович, В. М. Теоретические основы процесса брикетирования торфа [Текст] / В.М. Наумович– Минск: 1960. – 215 С.

36. Святец, И.Е. Бурые угли как технологическое сырье [Текст] / Е.И. Святец, А.А. Агроскин– М.: Недра, 1976. – 223 с.

37. Брикетирование углей и углеродистых материалов // М.: Недра, ИОТТ, 1973, с.153.

38. Нифонтов, Ю. А. Научные основы создания ресурсосберегающих технологий использования отходов добычи и переработки углей Печорского бассейна: дисс. д-ра техн. наук: [Текст] / Ю.А. Нифонтов - Санкт-Петербург,–2000. – 308 С.

39. Ефимов, В.И. Изготовление брикетов из угольных шламов обогатительных фабрик [Текст] / В.И. Ефимов, И.Б. Никулин // Горный информационно-аналитический бюллетень.– 2012. № 943. С.26–32.

40. Антоненко, Л.А. Исследование возможности получения топливных брикетов из угольной мелочи, отходов углеобогащения и деревообрабатывающей промышленности [Текст] / Л.А. Антоненко, Е.В. Пилипенко, К.И. Домнин, Е.П. Волынкина, А.Е. Аникин // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: Тр. Всероссийской научн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. Новокузнецк. –2012. С.188–190.

41. Папин, А.В. Получение топливных брикетов из тонкодисперсных отходов угледобычи и углепереработки [Текст] / А.В. Папин, А.Ю.

Игнатова, А.В. Неведров, Т.Г. Черкасова // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых.–2015. № 5. С.43–49.

42. Исманжанов, А.И. Разработка технологии брикетирования низкосортной угольной мелочи с продуктами переработки биомассы чертополоха [Текст] / А.И. Исманжанов, Т.Д. Джолдошева. Ч.А. Адылов, Р.Ш. Салимов // Приоритетные направления развития науки и образования.– 2016. № 1 (8). С.245–251.

43. Серегин, А.И. Прогрессивный алгоритм создания технологий производства брикетов из угольных шламов [Текст] / А.И. Серегин, Е.Г. Горлов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2008. № 3.– С.244–246.

44. Сухомлинов, Д.В. Технологии изготовления топливных брикетов с низкой температурой воспламенения из отходов угольной промышленности [Текст] / Д.В. Сухомлинов, В.Б. Кусков // Горный информационно-аналитический бюллетень. Отдельные статьи. 2013. № 5.–С.14-17.

45. Nikolaeva, L.A. Fuel briquettes from brown coals of Yakutia [Текст] / L.A. Nikolaeva, V.G. Latyshev, O.N. Burenina // Solid Fuel Chemistry. – 2009. – Т. 43. – № 2. – С. 109–112.

46. Смольянинов, С.И. Термобрикетирование торфа [Текст] / С.И. Смольянинов, С.Г. Маслов – Томск: Издательство Томского университета, 1975. – 108 с.

47. Исламов, С.Р. Переработка низкосортных углей в высококалорийное топливо [Текст] / С.Р. Исламов // Уголь. – 2012. – № 3. – С. 64–66.

48. Способ изготовления брикетного топлива [Текст]: пат. 2375414 Рос. Федерация: МПК С10L5/14/; заявл. 02.09.2008; опубл. 10.12.2009. – 8 с.

49. Lurii, V.G. Comparative results of the combustion of lignin briquettes and black coal [Текст] / V.G. Lurii // Solid fuel chemistry. – 2008. – № 6. – P. 342–348.

50. Петров, Н. Евродрова [Текст] / Н. Петров // ЛесПромИнформ. – 2009. – № 1. – С. 86–88.

51. Передерий, С. Топливные древесные брикеты как альтернатива другим видам твердого топлива [Текст] / С. Передерий // ЛесПромИнформ. – 2010. – № 6 (72). – С. 162–165.

52. Александрова, Т.Н. Разработка технологии брикетирования буроугольной мелочи на основе связующей композиции из отходов [Текст] / Т.Н. Александрова, А.В. Рассказова, К.В. Прохоров // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2012. № 9. С.284– 289.

53. Аринова, С.К. Исследование технологии получения угольных брикетов с заданными физико-механическими характеристиками в лабораторных условиях [Текст] / С.К. Аринова, Б.Б. Саркенов, Ж.А. Ашкеев // Современные научные исследования и инновации. 2015. № 1–5 (49). С.127–133.

54. Буравчук, Н.И. Влияние технологических параметров на качество топливных брикетов из мелкозернистых угольных отходов [Текст] / Н.И. Буравчук, О.В. Гурьянова // Химия твердого топлива. 2015. № 5. 25 с.

55. Табакаев, Р.Б. Твёрдое композитное топливо из низкосортного сырья [Текст] / Р.Б.Табакаев, А.В. Казаков, А.С. Заворин // Известия Томского политехнического университета. Техника и технологии в энергетике. 2014. Т. 325. № 4 С. 56–64

56. Пат. 2332443 РФ. МПК C10L5/08/ Способ брикетирования (варианты) [Текст] / К.Н. Кларк, Дж.В. Калб, Р. Комарек, Р.Л. Микинз, А.К. Пирсон заявитель и патентообладатель KOMMONVELT SAIENTIFIK END INDUSTRIAL RISERCH ORGANIZEISHN (AU). №2005128305/04, заявл.11.02.2004; опубл. 27.08.2008. Бюл. №24.- 23с: ил.

57. Устройство и способ формования порошкообразного угля - [Электронный ресурс]: патент CN105861090В, Китай, МПК C10L5/06; заявитель 03.31.2016- [Сюй Синьтянь](#), [Чжао Лонг](#) и др.– Режим доступа:

<https://patentimages.storage.googleapis.com/7d/99/c4/63a30e9efca68e/CN105861090B.pdf>

58. Устройство подачи сырья и способ подачи сырья для оборудования для производства угольных брикетов - [Электронный ресурс]: патент КР101839959В1, Южная Корея, МПК С10В31/00; заявитель 08.29.2016- [Пак У Ил](#), [Хунсан Ким](#), [Ли Ён Док](#) – Режим доступа: <https://patentimages.storage.googleapis.com/02/f6/57/5a3def12988d5b/KR101839959B1.pdf>

59. Пат. №2144559 РФ. МПК С10L5/04, С10L5/08, С10L5/44, С10L5/00 / Состав для получения топливных брикетов [Текст] / А.В. Уфимцев, А.А. Малюченко, Н.И. Елисеева, В.В. Заусаев Оpubл. 20.01.2000. Бюл. №28.

60. Пат. 2785437С1 РФ. МПК С10L5/00, С10L5/02, С10L5/14, С10L5/44 / Состав для получения водостойкого топливного брикета [Текст] / Н.И. Буравчук, О.В. Гурьянова Оpubл. 07.12.2022 Бюл. № 34

61. Пат. 2744146С2 РФ. МПК С10L5/00, С10L11/02, С10L11/04 / Топливный брикет и способ получения топливного брикета [Текст] / Л.Н. Филоненко Оpubл. 03.03.2021. Бюл.№7.

62. Пат. 2268914С2 РФ. МПК С10L5/12, С10L5/40, С10L5/44 / Топливный брикет [Текст] / Г.В. Пасешник, С.П. Шмаков опубл. 27.01.2006. Бюл. №3.

63. Пат. 2326159 РФ. МПК С10L5/14, С08L95/00 / Сапропелесодержащее связующее для брикетирования бурого угля [Текст] / Л.А Петрова., О.Н. Буренина, В.Г. Латышев, С.Н. Попов, Л.Я. Морова. Оpubл.10.06.2008. Бюл. №16.

64. Пат. 2467059 РФ. МПК С10L5/14, С10L5/10 / Смолистое связующее для получения угольных брикетов [Текст] / Т.В. Шевченко, Ш.А. Файрушин, Е.В. Ульрих, А.С. Чуйков. Оpubл. 20.11.2012. Бюл. №32.

65. Пат. 2472845 РФ. МПК C10L5/00, C10L5/14, C10L5/10. Состав химически полученного связующего для производства угольных брикетов [Текст] / Т.В. Шевченко, Ш.А. Файрушин, Е.В. Ульрих, В.П. Амеленко. Оpubл. 20.01.2013. Бюл. № 2.

66. Пат. 2473671 РФ. МПК C10L 5/00, C10L5/14, C10L9/10, C10L5/02, C10L5/10. Способ получения угольных брикетов [Текст] / Т.В. Шевченко, Ш.А. Файрушин, Е.В. Ульрих, В.С. Фролов. Оpubл. 20.11.2012. Бюл. № 32.

67. Пат. 2467060 РФ. МПК C10L5/14, C10L5/10. Комплексное связующее для получения угольных брикетов[Текст] / Т.В. Шевченко, Ш.А. Файрушин, Е.В. Ульрих, Ю.С. Мидуница. Оpubл. 20.11.2012. Бюл. № 32.

68. Пат. RU2030448C1 РФ. МПК C10L5/48, C10L5/12 / Состав для изготовления топливных брикетов [Текст] / В.И. Штеле, А.Н. Анушенков, Е.А. Халямин, Г.М. Захаров, А.И Петушков Оpubл. 03.10.1995. Бюл. № 32.

69. Пат. 2119532C1 РФ. МПК C10L9/10, C10L5/20, C10L5/44, C10L5/36 / Топливный брикет [Текст] / И.М Гомзарь., А.Б. Незаметдинов Оpubл.27.09.1998. Бюл. №27

70. Synthetic fuel pellet and methods [Электронный ресурс]: pat. WO/2007/127253 USA, МПК C10L 5/10. / Michalek Jan, K., Thomas Theodore J.; № PCT/US2007/010027. — Режим доступа: <https://patentimages.storage.googleapis.com/cc/1c/e5/dc7a428934fc31/WO2007127253A2.pdf>

71. Coal or coke briquette and process for manufacturing same [Электронный ресурс]: pat. EP0135784, German, МПК C10L 5/14 / Messenig, Leo, Dr.-ing., Cieslik, Wolfgang, Dipl.-ing., Opdenwinkel, H. Dipl.-ing.; заявительпатентообладатель Ruhrkohle Aktiengesellschaft (Ruhr Coal Company). — № 1484109822. — Режим доступа: [https://patentscope.wipo.int/search/ru/detail.jsf?docId=EP11527842&\\_cid=P20-LUYEK6-78037-1](https://patentscope.wipo.int/search/ru/detail.jsf?docId=EP11527842&_cid=P20-LUYEK6-78037-1)

72. Fuel briquette, methods of fabrication and utilization there of [Электронный ресурс]: pat. RU94043321A, Russian Federation, МПК 6С 10L / Luriy V.G., Terent'ev Yu.I. - № 94043321/04. – Режим доступа: <https://patents.google.com/patent/RU94043321A>

73. Fuel briquette [Электронный ресурс]: pat. RU2117032 Russian Federation, МПК C10L6. / Kravets Yu.M., Kostochko A.V., Novikov D.S.; заявитель и патентообладатель Kazan state technological university. - № 97107218/04. – Режим доступа: <https://patents.google.com/patent/RU2117032C1/en?q=RU2117032>

74. Fuel briquette and a method for fabrication there of [Электронный ресурс]: pat RU2292382, Russian Federation, МПК C10L 5/12 / Salehov L. T., Boev S.F., Sembiev A. U., Bezrukih P.P., Kotov V.G., Kozyrev G. A. - № 2005111709/04. – Режим доступа: <https://patents.google.com/patent/RU2292382C1/en?q=RU2292382>

75. Schonherr T. Optical spectra and chemical bonding in inorganic compounds [Текст] / T. Schonherr; Ch. Klixbull Jorgensen. – New York: Springer, 2004. – 148 с.

76. Non – polluting coal briquette and process for manufacturing the same [Электронный ресурс]: pat. EP0373236B1 German, МПК C10L 5 / Emmerichs, Gerhard, DIPL.-ING; заявители и патентообладатели Emmerichs, Gerhard, DIPL.-ING. - № 88120818. – Режим доступа: <https://patents.google.com/patent/EP0373236B1/en>

77. Александрова, Т.Н. Влияние состава и технологических режимов изготовления топливных брикетов на их потребительские свойства [Текст] / Т.Н. Александрова, А.В. Рассказова // Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых. Материалы 10 Международной научной школы молодых ученых и специалистов. 18-22 ноября 2013 г. М: ИПКОН РАН, 2013 - С. 244 – 247.

78. Новак, В.И. Обзор современных методов обогащения угольных шламов [Электронный ресурс] / В.И. Новак, В.А. Козлов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), ГИАБ.–2012. – № 3. – Режим доступа: <http://www.giab-online.ru/catalog/10600>.

79. Верхотуров, М.В. Гравитационные методы обогащения [Текст] / М.В. Верхотуров. – М.: МАКС Пресс, 2006.— 352 с.

80. Кузьмин, А.В. Повышение эффективности обогащения углей на основе применения вакуумно – пневматического способа сепарации: дис. на соискание ученой степени канд. тех. наук: 250013: утв. 27.04.2009 [Текст] / Кузьмин Александр Владимирович. – М., 2008. – 130 с. – Библиогр.: с. 118–125. – 04200901027.

81. Исхаков, Х. А. Возврат к сухому обогащению углей [Текст] / Х. А. Исхаков, Е. Л. Счастливец, Ю. А. Кондратенко // Кокс и химия. – 2008. – № 11. – С. 15–17.

82. Новак, В.И. Обогащение разубоженной массы угля [Электронный ресурс] / В.И. Новак // ежемесячный научно-технический и производственно-экономический журнал Уголь. –2013. С.52-54–Режим доступа: <http://coralina.ru/images/catalog/coal/UgolJanuary2013.pdf>

83. Stanley, R. Fuel Briquette making. Legacy Foundation [Электронный ресурс] / R.Stanley. -Режим доступа: <https://www.paceproject.net/wp-content/uploads/2021/10/making-fuel-briquettes-Action-Sheet-77.pdf>

84. Grover, P.D. Biomass briquetting: technology and practices [Электронный ресурс] / P.D. Grover, S.K. Mishra // Regional wood energy development programme in Asia. – Режим доступа: <http://www.fao.org/docrep/006/AD579E/ad579e00.pdf>

85. Джаманбаев, А.С. Брикетирование углей Киргизии [Текст]./ А.С. Джаманбаев, Ж.Т. Текенов, А.Ш. Баймендиева Изд. "Илим", Бишкек, 1991.- 124 с.
86. Джаманбаев, А. Угли Киргизии и пути их рационального использования [Текст]./ А. Джаманбаев Изд.Илим. Фрунзе.1983.
87. Текенов, Ж.Т. Научные основы взаимодействия частиц угля при брикетировании и сmerzании [Текст]./ Ж.Т. Текенов, А.С. Джаманбаев // Труды V Всесоюзный совещания по ХТТТ, Москва, ИТИ, 1988
88. Текенов, Ж.Т. К вопросу об улучшении прочностной характеристики брикетов из бурых углей [Текст]./ Ж.Т. Текенов // Сб. "Проблемы переработки и использования углей Средней Азии". Тезисы докл., Фрунзе, Изд. "Илим", 1987
89. Курманкулов, Ш.Ж. Брикетирование бурых углей Кыргызстана с хлопковыми гудронами [Текст]./ Ш.Ж. Курманкулов, Ж.Т. Текенов // Журнал "ХТТ", 1992, № 1.
90. Курманкулов, Ш.Ж. Использование минеральных связующих при брикетировании углей Кыргызстана [Текст] / Ш.Ж Курманкулов, Т.Ж. Джолдошева, Ж.Т. Текенов // Сборник научных трудов, Выпуск I, г. Ош
91. Способ брикетирования угля без связующих веществ. Патент на изобретения №948.2007г. [Текст] / Ш. Ж. Курманкулов, Ж. Т. Текенов // ИНТЕЛЛЕКТУАЛДЫК МЕНЧИК, № 4/2007.
92. Исманжанов, А.И. Утилизация низкосортных углей Кыргызстана окускованием с неорганическими связующими [Текст]. / А.И. Исманжанов, Т. Дж. Джолдошева , Ж.Т.Текенов // Изд. «Илим» Бишкек. 2008 г.
93. Адылов, Ч.А. Разработка технологии брикетирования угольной мелочи с помощью продуктов переработки биомассы. [Текст] / А.И.

Исманжанов, Т.Дж. Джолдошева, Ч.А. Адылов // Наука. Образование. Техника. -2015. -№ 1.–С 161- 169.

94. Ташполотов, Ы. Исследование термического разложения веществ на основе теории синергетики [Текст] / Ы. Ташполотов, Ш.Ж. Курманкулов, Г.К. Омурбекова, Ж.К. Матисаков // Вестник ОшГУ, 2005, №3, С.195-197.

95. Ташполотов, Ы. Разработка технологии коксования углей Узгенского бассейна [Текст] / Ы. Ташполотов, Э. Садыков //Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.econf.rae.ru/article/4724](http://www.econf.rae.ru/article/4724)

96. Алдашева, Н. Исследование кинетики низкотемпературного пиролиза бурых углей Алайского и Узгенского месторождений с целью получения коксового газа и смолы./ Н. Алдашева, Ы. Ташполотов // Наука , новые технологии и инновации Кыргызстана (Бишкек), 2017, №4, С.66-68.

97. Осекова, Г. Эффективное использование бурых углей Кыргызстана на основе комплексной их переработки / Г.Осекова, Ы.Ташполотов // Наука, новые технологии и инновации(Бишкек), 2017, №3, С.40-44.

98. Осекова, Г.А. Исследование бурых углей Алайского бассейна с применением пиролиза (без доступа воздуха) / Г.А. Осекова, Ы. Ташполотов, Э.М Ысманов// Известия Ошского технологического университета, 2018, №1,С.174-176.

99. Ходаков, Г.С. Физика измельчения [Текст] / Г.С. Ходаков. – М.: Наука, 1972. – 307 с.

100. Аввакумов, Е.Г. Механические методы активации химических процессов [Текст] / Е.Г. Аввакумов. – Новосибирск: Наука, 1979. – 251 с.

101. Хайнике, Г. Трибохимия [Текст] / Г. Хайнике. – М.: Мир, 1987. – 584 с.

102. Кулебакин, В.Г. Применение механоактивации в гидрометаллургических процессах [Текст] / В.Г. Кулебакин. – Новосибирск: Наука, 1988. – 272 с.
103. Молчанов, В.И. Физические и химические свойства тонкоизмельченных минералов [Текст] / В.И. Молчанов, Т.С. Юсупов. – Новосибирск: Наука, 1983. – 65 с.
104. Болдырев, В.В. Экспериментальные методы в механохимии твёрдых неорганических веществ [Текст] / В.В. Болдырев– Новосибирск: Наука, 1979. – 251 С.
105. Болдырев, В.В. Обогащение полезных ископаемых [Текст] / В.В. Болдырев, Е.Г. Авакумов, А.Т. Логвиненко. – Новосибирск: Изд. ИГД СО АН СССР, 1977. – С. 5 – 10.
106. Медведев, А.С. Выщелачивание и способы его интенсификации [Текст] / А.С. Медведев. – М.: МИСИС, 2005. – 240 С.
107. Рорюнов, Ю.В. Эффект Ребиндера [Текст] / Ю.В. Рорюнов, Н.В. Перцев, Б.Д. Сумм. – М.: Наука, 1966. - 124 С.
108. Календарев, И. Я. Влияние физико-химических свойств углей на прессуемость и условия получения брикетов и формированных адсорбентов [Текст] : дис. на соискание ученой степени канд. хим. наук: 05.17.07 / И. Я. Календарев – М., 1984. – 148 С.
109. Николаева, Л. А. Брикетирование угля с использованием модифицированного гудрона [Текст] : дис. ... канд. тех. наук: 25.00.13./ Л. А. Николаева– Иркутск, 2011. - 165 с.
110. Никишанин, М.С. Брикетирование местных топлив и отходов для систем энергообеспечения в сельской местности / М.С. Никишанин, Р.Ш. Загруддинов, П.К. Сеначин // Ползуновский Вестник № 1 2016. С. 88-95

111. Катков, М.В. Влияние различных факторов на прочность брикетов предназначенных к использованию в шихтах для коксования [Текст] / М.В. Катков, Ю.В. Бирюков, В.А. Лебедев. // СПб.: Metallurgy and Coking, 1981. – 137С.

112. Шувалов, Ю.В. Обоснование рациональных технологий получения топливно - энергетического сырья на основе твердых горючих углеродсодержащих отходов [Текст] / Ю.В. Шувалов, Ю.Д. Тарасов, А.Н. Никулин // Горный информационно - аналитический бюллетень. - № 8. -2011. - С. 243 -247.

113. ГОСТ Р52911 -2008. Топливо твердое минеральное. Методы определения общей влаги [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://gostexpert.ru/gost/gost-52911-2008>.

114. ГОСТ 11022-95. Топливо твердое минеральное. Методы определения зольности [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://gostexpert.ru/gost/gost-11022-95>.

115. ГОСТ 6382-2001. Топливо твердое минеральное. Методы определения выхода летучих веществ [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://gostexpert.ru/gost/gost-6382-2001>.

116. ГОСТ 8606-93. Топливо твердое минеральное. Определение общей серы. Метод Эшка [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://gostexpert.ru/gost/gost-8606-93>.

117. ГОСТ 10969-91 (ИСО 975-85, ИСО 1017-85) Угли бурые и лигниты. Методы определения выхода толуольного экстракта и содержания в нем растворимых в ацетоне веществ (смолистые вещества) [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200024144>

118. ГОСТ 2408.1-95 (ИСО 625-96) Топливо твердое. Методы определения углерода и водорода [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200024040>

119. ГОСТ 28743-93 (ИСО 333-96) Топливо твердое минеральное. Методы определения азота (с Изменением N 1) [Электронный ресурс] -

Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200024273>

120. ГОСТ 147-95 (ИСО 1928-76) Топливо твердое минеральное. Определение высшей теплоты сгорания и вычисление низшей теплоты сгорания [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200024029>

121. ГОСТ 3168-93 (ИСО 647-74) Топливо твердое минеральное. Методы определения выхода продуктов полукоксования [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200024044>

122. [ГОСТ 27313-87 Топливо твердое. Обозначение аналитических показателей и формулы пересчета результатов анализа для различных состояний топлива](#) [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/437115125>

123. ГОСТ 11501-78 Битумы нефтяные. Метод определения глубины проникания иглы (с Изменениями N 1, 2, 3, 4) [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200005001>

124. ГОСТ 11505-75 Битумы нефтяные. Метод определения растяжимости (с Изменениями N 1, 2). [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200005002>

125. ГОСТ 11506-73 Битумы нефтяные. Метод определения температуры размягчения по кольцу и шару (с Изменениями N 1, 2, 3) [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200005003>

126. ГОСТ 11507-78 Битумы нефтяные. Метод определения температуры хрупкости по Фраасу (с Изменениями N 1, 2, 3) [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200005293>

127. ГОСТ 4333-87 Нефтепродукты. Методы определения температур вспышки и воспламенения в открытом тигле (с Изменением N 1) [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200005437>

128. ГОСТ 18180-72 (СТ СЭВ 4543-84) Битумы нефтяные. Метод

определения изменения массы после прогрева (с Изменениями N 1, 2, 3) [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200006555>

129. ГОСТ 21289-75 Брикетты угольные. Метод определения механической прочности (с Изменениями N 1, 2) [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200024247>

130. ГОСТ 21290-75 Брикетты угольные. Метод определения водопоглощения [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200024248>

131. Березкина, З.Н. Исследование процессов получения бытового топлива из Киргизских углей [Текст]: Автореферат дисс. канд. техн. наук / З.Н. Березкина.– Фрунзе, 1971.-24С

132. Сабилов, Б. З. Терморастворение угля [Текст] / Б. З. Сабилов, А. В. Цой, Ш. Джапарова, И. Ж. Полотов, Ч. К. Кошназарова // Вестник Ошского государственного университета. – Ош, 2017.– №1.– С.155-164. <https://elibrary.ru/item.asp?id=28989972>

133. Юркевич, Я. Углекислота / Я. Юркевич, С. Росинский. – М.: Металлургия, 1973. – 360 с.

134. Шарыпов, В.И. Получение связующих для дорожного строительства из смесей бурого угля, нефтяных остатков и полимерных отходов [Текст] / В.И. Шарыпов, Н.Г. Береговцова, С.В. Барышников, Б.Н. Кузнецов. // Химия в интересах устойчивого развития №13 (2005). Институт химии и химической технологии Сибирского отделения РАН.

135. Патент RU 2181746. Способ получения пекообразного продукта из угля. [Текст] / А.Е. Базегский, А.В.Салтанов, Н.А. Зоткина, М.Б. Школлер, В.П. Иванов

136. Сабилов, Б.З. Исследование получения термо и водостойкого угольного брикета на основе битума (полученного терморастворением угля) и бентонитовой глины [Текст] / Ч. К. Кошназарова, Б. З. Сабилов, Ш. Джапарова, И. Ж. Полотов // Вестник Ошского государственного

университета. – Ош, 2017. – № 1. – С. 76-79.  
<https://elibrary.ru/item.asp?id=28989940>

137. Кашин, Н.А. Справочник по месторождениям строительных материалов Кирг ССР [Текст]. / Н.А. Кашин, Т.А. Воронова и др.,// – М.: Недр, 1967.–263С.

138. Мукамбетов, К.М. Рациональное использование минерально-сырьевых ресурсов Республики Кыргызстан [Текст]. / Мукамбетов К.М., Осмонбетов К.О. и др.// Обзор – Бишкек: КыргНИИНТИ, 1991.

139. Сартбаев М.К. Биосорбционная очистка стоков глинами с получением стройматериалов – основа экологической безопасности водоемов и ресурсо – сбережения [Текст]. / М.К. Сартбаев // ЭкоНИВЦ Госкомприроды Республики Кыргызстан. – Бишкек, 1991.

140. Сартбаев, М.К. Производство керамзитов и облицовочных плиток на основе природных глин и утилизируемых глинистых адсорбентов [Текст]./ М.К. Сартбаев // И.Л. №135 (4810). – Бишкек: КыргНИИНТИ, 1991.

141. Сартбаев М.К. Солеустойчивые промывочные растворы на основе верхнемеловых глин юга Киргизии и их промышленное внедрение [Текст]./ М.К. Сартбаев // Мат-лы X пленума Всесоюз. Комиссии по глинам – Тюмень, 1973.

142. Сартбаев М.К. Практическое использование глинистых пород южной Киргизии [Текст]./ М.К. Сартбаев // Учеб. пособие ФПИ. – Фрунзе, 1977.

143. Горюшкин, В.В. Технологические свойства бентонитов палеоцена Воронежской антеклизы и возможности их изменения [Текст]./ В.В. Горюшкин // Вестник Воронежского университета. Геология. -2005.- №1.- С.166-177.

144. Котов, Ю.А. Ионы и ионный обмен [Текст]./ Ю.А. Котов // М.: Химия, 1980.- 162с.

145. Бортников, С.В. Активация щелочноземельного бентонита карбонатом натрия. Режим доступа: [www/gramota/net/](http://www/gramota/net/)

materials/1/2012/2/24.html.

146. Наседкин, В.В. Bentonит в промышленности России [Текст]./ В.В. Наседкин, Ф.С. Кваша, В.В. Стаханов // - М.: Геос, 135 с.

147. Горюшкин, В. В. Технологические свойства бентонитов палеоцена воронежской антеклизы и возможности их изменения [Текст]./ В.В. Горюшкин // Вестник Воронежского университета. Геология. 2005. No 1. С. 166-177.

148. Котов, Ю.А. Ионы и ионный обмен [Текст]./ Ю.А. Котов // М.: Химия, 1980. -162 с.

149. Кульчитский, Л.И. Физико-химические основы формирования свойств глинистых пород. [Текст]./ Л.И. Кульчитский // М.: Недра, 1981. 253 с.

150. Марцин, И. И. Регулирование адсорбционных свойств дисперсных минералов методом кислотной активации [Текст]./ И.И. Марцин // Глины, глинистые минералы и их использование в народном хозяйстве: материалы XII всесоюз. совещания. Алма-Ата, 1985. С. 147.

151. Арзиев, Ж.А. Использование гуминовых углей и попутнодобываемых ресурсов угледобывающей промышленности Кыргызской Республики [Текст]./ Ж.А. Арзиев. // –Бишкек: «Илим», 2009,- 146С.

152. Березкин З.А., Хотунцев Д.Л., Гребенников В.С. Снижение расходов углеводородных связующих веществ при брикетировании полукокса Сулюктинского угля путем использования натрия и глины [Текст]./ З.А. Березкин, Д.Л. Хотунцев, В.С. Гребенников // Вопросы энергетики и использования энергетических ресурсов Киргизии. Из-во «Илим». Фрунзе. 282С.

153. Гумаров, Р.Х. К вопросу о механизме образования брикетов из каменноугольной мелочи с присадкой полярных связующих [Текст]./ Р.Х. Гумаров // Угли Средней Азии и пути их использования. – Ташкент, 1968. – С. 115–131.

154. Гумаров, Р.Х. Брикетирование шаргуньской угольной мелочи с присадкой аммониевых солей гуминовых кислот [Текст]./ Р.Х. Гумаров // Узб. хим. журн.–1964. – №6. – С. 67–71.

155. Гумаров, Р.Х. Применение выветрелых Кызыл-Кийских углей в качестве связующих для брикетирования каменноугольной мелочи [Текст]./ Р.Х. Гумаров // Материалы I науч.-техн. конф. по использованию углей Киргизии: Тр. Фрунзен. политех. ин-та. – Фрунзе, 1971. – С. 361–364.

156. Сабилов, Б.З. Исследование брикетированности бурых углей со связующим битумом-полученного методом терморастворения угля с остатком нефтепереработки [Текст]./ Б.З. Сабилов // “Химия и металлургия комплексной переработки минерального сырья” материалы международной научно-практической конференции посвященной 90-летию выдающегося ученого академика АН КазССР, лауреата государственной премии СССР Букетова Евнея Арстановича, Караганда, 2015.с.215-220

157. Сабилов, Б.З. О путях обеспечения коммунально-бытового хозяйства окученными угольными топливами [Текст]. / Б.З. Сабилов, Ш. Жапарова // Известия ОшТУ. 2004. №2,- С.95-101

158. Сабилов, Б. З. Технология получения композиционного твердого топлива из углей Кызыл-Булакского и Кожо-Келенского месторождений и нагретого битума [Текст] / Б. З. Сабилов, Ы. Ташполотов // Бюллетень науки и практики. – Нижневартовск, 2024. – Т. 10, № 2. – С. 388-396. <https://elibrary.ru/item.asp?id=60775140>

159. Сабилов, Б.З. Решение проблем использования угольных отсеков и органических отходов в малой теплоэнергетике [Текст] / А.В. Цой, Б.З. Сабилов, Ш.Ж. Джапарова // спец.выпуск. Материалы научно-практической конференции «Проблемы устойчивого развития и экологической безопасности южного региона Кыргызстана» Известия ОшТУ, №2, 2007.

160. Цой А.В., Сабилов Б.З. Получение топливных брикетов в домашних условиях из местного некондиционного сырья [Текст]. / А.В. Цой, Б.З. Сабилов //Наука образование техника, 2006. №4 (18), с.88-90



Б.З. Сабилов // Сб. науч. тр. ЮО НАН КР. К природно-сырьевым ресурсам через высокие технологии. -Бишкек: «Илим», 2001.- С.33-36.

168. Сабилов, Б.З. Утилизация низкосортных углей Кыргызстана окускованием с различными связующими материалами [Текст] / Ж.Т. Текенов, А.В. Цой, Ш. Джапарова, Б.З. Сабилов // Известия ОшТУ. – Ош, 2012 г.– №1.–С.141-145. [http://vestnik.oshtu.kg/images/Journal/2012-1/prob\\_estes\\_nauk/5\\_zh\\_t\\_tekenov\\_b\\_z\\_sabirov\\_sh1.pdf](http://vestnik.oshtu.kg/images/Journal/2012-1/prob_estes_nauk/5_zh_t_tekenov_b_z_sabirov_sh1.pdf)

169. Сабилов, Б.З. Пути энергоэффективного использования местных углей [Текст] / А.А. Асанов, Т.С. Абдыкадыров, Б.З. Сабилов, С.Т. Токтоназаров // Вестник Кыргызского государственного университета строительства, транспорта и архитектуры им. Н.Исанова. – Бишкек, 2013. – № 4. – С. 89-91. <https://elibrary.ru/item.asp?id=23161317>

170. Сабилов, Б.З. Получение топливных брикетов в домашних условиях из местного некондиционного сырья [Текст] / Б.З. Сабилов, Ж.Т. Текенов, А.В. Цой // Кырг.-Узб. Университет. Журнал Наука, образование, техника.- 2006.-№4(18). С.88-90

171. Сабилов Б.З. Формирование устойчивой системы автономного теплообеспечения в населенных пунктах и малых городах Кыргызстана с использованием топлива из формованных угольных отсеков[Текст]./ А. В. Цой, Б.З. Сабилов // Известия Национальной Академии наук Кыргызской Республики. – 2009. – № 3. – С. 18-23. – EDN XAZMOZ.

172. Сабилов, Б. З. Технология получения тепла из композиционных угольных топлив в усовершенствованных печах для коммунально-бытового использования / Б.З. Сабилов, Ы.Т. Ташполотов // Бюллетень науки и практики. – 2024. – Т. 10, № 2. – С. 379-387. – DOI 10.33619/2414-2948/99/36. – EDN YWSAGK.

173. Кнорре Г.Ф., и др. Теория топочных процессов. М.-Л.:Энергия, 1968.-491с.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

### Приложение 1.

#### **Технико-экономические показатели технологии получения композиционного топлива на основе углей с активированными связующими**

Всем известно, что без оценки экономической эффективности научные разработки не могут внедряться в производство. Поэтому в данном разделе работы приведены результаты оценки экономической эффективности (ЭЭ), разработанной нами технологии брикетирования (ТБ) углей Кызыл-Булакского, Жатанского и Кожо-Келенского месторождений с механохимически активированными неорганическими связующими – бентонитовой глиной и лессовым суглинком,

Экономическая эффективность брикетирования углей зависит, кроме ряда факторов еще и от того, где проводится брикетирование: на месте добычи угля или, на топливной базе (на месте реализации угля), при которых потери угольной мелочи будут различными. Поэтому, оценка ЭЭ технологии брикетирования производилось нами для двух указанных вариантов:

I. Добыча угля → брикетирование → транспортировка брикетов на место реализации (использования) → сжигание

II. Добыча угля → транспортировка угля (штыба) → брикетирование на месте реализации → сжигание.

Исходные технико-экономические показатели Кызыл-Булак, Жатан и Кожо-Келенского углей, от которых зависят аналогичные показатели брикетов, приведены в таблице 1.

Таблица 1- Исходные технико-экономические показатели углей

№	Название показателей	Ед из.	Ко л-во	Стоимость (на 01.02.2023.)	
				сом	\$США
<b>Жатанское месторождение</b>					
1	Стоимость угля (рядовой) на месте добычи	т	1	4500,0	52,2
2	Стоимость угольной мелочи (на месте добычи, по демпинговой цене)	т	1	2000	23,2
3	Расстояние от места добычи до места реализации (г. Ош,)	км	35	-	
4	<b>Стоимость транспортировки 1 т угля автомобильным транспортом на 1 км (до места</b>				

	<b>реализации)</b>	км	1	1000	11,6
5	Отпускная цена рядового угля на месте реализации	т	1	5500	63,8
6	Отпускная цена угольной мелочи (на месте реализации, по демпинговой цене)	т	1	3000	34,8
<b>Кожо-Келенское месторождение</b>					
1	Себестоимость угля (рядовой) на месте добычи	т	1	4000	46,4
2	Стоимость угольной мелочи (на месте добычи, по демпинговой цене)	т	1	1500	17,4
3	Расстояние от места добычи до места реализации (г. Ош)	км	75	-	
4	<b>Стоимость транспортировки 1 т угля автомобильным транспортом до места реализации</b>	км	1	1500	17,4
5	Отпускная цена рядового угля на месте реализации	т	1	6000	69,6
6	Отпускная цена угольной мелочи (на месте реализации)	т	1	3000	34,8
<b>Кызыл-Булакское месторождение</b>					
1	Себестоимость угля (рядовой) на месте добычи	т	1	3700	42,9
2	Стоимость угольной мелочи (на месте добычи, по демпинговой цене)	т	1	1500	17,4
3	Расстояние от места добычи до места реализации (г. Ош)	км	220	-	
4	<b>Стоимость транспортировки 1 т угля автомобильным транспортом до места реализации</b>	км	1	2000	23,2
5	Отпускная цена рядового угля на месте реализации	т	1	6000	69,6
6	Отпускная цена угольной мелочи (на месте реализации)	т	1	3500	40,6

Первоначальная стоимость опытной промышленной брикетной установки и его основного оборудования в ценах 2015 года приведены в Таблице 2.

Таблица 2 - Стоимость основного оборудования опытной промышленной брикетной установки

№ п/п	Оборудование	Стоимость	
		сом	\$
1	Дробилка, Транспортер подачи связующего	156390	2696,37

2	Емкость 5м <sup>3</sup>	5800	100,0
3	Дробилка, Транспортер подачи угля, сепаратор,		
4	Смеситель шихты	40600	700,0
5	Пресс	303550	5233,62
	Итого:	506340	8730

Годовой экономический эффект  $\mathcal{E}_Г$  технологии получения брикетов определялась по следующей формуле:

$$\mathcal{E}_Г = C_M N_M - Z_B N_B \frac{Q_M}{Q_B} ; \quad (1)$$

где,  $C_M$  – стоимость 1 т угольной мелочи;

$N_M$  – годовой объем потребления угольной мелочи;

$Z_B$  – затраты на изготовления брикетов;

$N_B$  - годовой объем потребления брикетов;

$Q_M$  – теплотворность 1 кг угольной мелочи;

$Q_B$  – теплотворность 1 кг брикетов.

Затраты на изготовление 1 тонны брикетов (гранул) определяется по следующей формуле:

$$Z_B = \frac{P_C + (N_a * T) + Z_{\text{техн}} * N_B * T}{N_B * T} \quad (2)$$

где,  $P_C$  – первоначальная стоимость основных фондов;

$N_a$  – годовая норма амортизации;

$T$  – нормативный срок службы фондов;

$Z_{\text{техн}}$  – технологические затраты на брикетирование.

Годовой размер амортизационных отчислений от каждого вида основных фондов (взятых в %), от их балансовой стоимости, называется годовой нормой амортизации и выражается формулой [Безсонов Н.В., Кретов Б.К. Пособие для расчета экономии от внедрения изобретений и рационализаторских предложений. М.: ЦНИИПИ Госкомитета СМ СССР по делам изобретений и открытий. 1977.- 177 с.]:

$$N_a = \frac{(P_C - L_C) - L_C}{T * P_C} \quad (3)$$

где,  $K_p$  – затраты на капитальный ремонт основных фондов;

$L_c$  – ликвидационная стоимость.

Амортизационные отчисления определяются выражением [Крапчин И.П. Экономика переработки углей. М.: Недра. 1989. 210с., ]:

$$A = \frac{(P_c + K_p - L_c) - H_a}{100} \quad (4)$$

Исходя из опыта эксплуатации подобных установок по формированию угольных брикетов с учетом срока службы (взят нами равным 20 лет ( $T = 20$  лет)).

$$P_c = 506340 \text{ сом,}$$

$$K_p = 35444 \text{ сом,}$$

Затраты на капитальный ремонт ( $K_p$ ) составляют 7% от первоначальной стоимости основных фондов ( $P_c$ ).

$$L_c = 126585 \text{ сом.}$$

Ликвидационная стоимость ( $L_c$ ) составляет 25% от первоначальной стоимости основных фондов ( $P_c$ ).

$$H_a = \frac{(P_c + K_p) - L_c}{T * P_c} = \frac{506340 + 35444 * 5 - 126585}{20 * 506340} * 100\% = 5,5\%$$

Таким образом, годовая норма амортизации не превышает 5,5% от  $P_c$ .

Технологические затраты на производство 1 тонны брикетов рассчитываются по следующей формуле [Кумскова Н.Х., Казакеев А.К., Савинова М.И. и др. Основы экономической теории.- Бишкек, 1993,- 247 с., Крутов В.И., Грушко И.М., Попов В.В. и др. Основы научных исследований. – М.: Высшая школа, 1989.- 400 с.]:

$$Z_{\text{ТЕХН}} = Z_y + Z_{\text{СВ}} + Z_{\text{ПУ}} + Z_{\text{ПСВ}} + Z_{\text{ПШ}} + Z_{\text{П}} + Z_{\text{ЗП}} + Z_{\text{ПР}}; \quad (5)$$

где,  $Z_y$  - затраты на уголь;

$Z_{\text{СВ}}$  – затраты на связующее;

$Z_{\text{ПУ}}$  - затраты на переработку угля (отсев штыба) состоит из:

$$Z_{\text{ПУ}} = Z_{\text{ТР1}} + Z_{\text{ИЗШ}} + Z_{\text{ОТСШ}} + Z_{\text{ТР2}}:$$

$Z_{\text{ТР1}}$  – подача штыба транспортером на измельчение;

$Z_{\text{ИЗШ}}$  - затраты на измельчение штыба;

$Z_{\text{отсш}}$  - затраты на отсев штыба;

$Z_{\text{тр2}}$  – подача отсева транспортером в смеситель;

$Z_{\text{псв}}$  - затраты на переработку связующего состоит из:

$Z_{\text{тр3}}$  – подача связующего транспортером на измельчение;

$Z_{\text{изсв}}$  – измельчение связующего;

$Z_{\text{отсв}}$  – отсев связующего;

$Z_{\text{тр4}}$  – подача связующего в смеситель;

$Z_{\text{пш}}$  – затраты на перемешивание шихты;

$Z_{\text{п}}$  - затраты на прессование;

$Z_{\text{зп}}$  - заработная плата рабочих;

$Z_{\text{пр}}$  - прочие затраты.

Тогда, общие технологические затраты на производство 1 тонны брикетов определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{техн}} = Z_{\text{у}} + Z_{\text{св}} + Z_{\text{тр1}} + Z_{\text{изш}} + Z_{\text{отсш}} + Z_{\text{тр2}} + Z_{\text{тр3}} + Z_{\text{изсв}} + Z_{\text{отсв}} + \\ + Z_{\text{тр4}} + Z_{\text{пш}} + Z_{\text{п}} + Z_{\text{зп}} + Z_{\text{пр}}; \quad (6)$$

1. Затраты на уголь -  $Z_{\text{у}}$ . Себестоимость штыба на месте добычи угля оценивается по демпинговой цене, что примерно на 75% ниже себестоимости самого рядового угля (с учетом доставки угольной мелочи на место производство брикетов и реализации).

2. Затраты на связующее -  $Z_{\text{св}}$ . Месторождение бентонитовой глины расположено примерно в 35 км от места производства брикетов. коммерческая цена глины с доставкой составляет 30-35тыинов на кг или 350сом/т брикета.

3. Затраты на переработку угля -  $Z_{\text{пу}}$ .

Затраты на переработку 1 т угля рассчитывают по расходам на электроэнергию для питания двигателей оборудования с учетом производительности пресса 4 т в смену.

$$Z_{\text{тр1}} = (3,5 \text{ кВт} \cdot 2 \text{ час} \cdot 2,5 \text{ сом}) : 4 \text{ т} = 4,38 \text{ сом/т};$$

$$Z_{\text{изш}} = (18,5 \text{ кВт} \cdot 2 \text{ час} \cdot 2,5 \text{ сом}) : 4 \text{ т} = 23,13 \text{ сом/т};$$

$$Z_{\text{ОТСШ}} = (3 \text{ кВт} \cdot 2 \text{ час} \cdot 2,5 \text{ сом}) : 4 \text{ т} = 3,75 \text{ сом/т};$$

$$Z_{\text{ТР2}} = (3,5 \text{ кВт} \cdot 4 \text{ час} \cdot 2,5 \text{ сом}) : 4 \text{ т} = 8,75 \text{ сом/т};$$

$$Z_{\text{ПУ}} = 4,38 + 23,13 + 3,75 + 8,75 = 40,01 \text{ сом/т}.$$

#### 4. Затраты на переработку связующего – $Z_{\text{ПСВ}}$ .

Затраты на переработку 1 т связующего рассчитывают аналогично расчетам затрат на  $Z_{\text{ПУ}}$ .

$$Z_{\text{ТР3}} = (3,5 \text{ кВт} \cdot 0,5 \text{ час} \cdot 2,5 \text{ сом}) : 1 \text{ т} = 4,37 \text{ сом/т};$$

$$Z_{\text{ИЗСВ}} = (18,5 \text{ кВт} \cdot 0,5 \text{ час} \cdot 2,5 \text{ сом}) : 1 \text{ т} = 23,13 \text{ сом/т};$$

$$Z_{\text{ОТСВ}} = (3 \text{ кВт} \cdot 0,5 \text{ час} \cdot 2,5 \text{ сом}) : 1 \text{ т} = 3,75 \text{ сом/т};$$

$$Z_{\text{ТР4}} = (3,5 \text{ кВт} \cdot 0,5 \text{ час} \cdot 2,5 \text{ сом}) : 1 \text{ т} = 4,37 \text{ сом/т};$$

$$Z_{\text{ПСВ}} = 4,37 + 23,13 + 3,75 + 4,37 = 35,62 \text{ сом/т}.$$

5. Затраты на перемешивание шихты -  $Z_{\text{ПШ}}$  определяют по затратам электроэнергии на двигатель смесителя.

$$Z_{\text{ПШ}} = (4,5 \text{ кВт} \cdot 8 \text{ ч} \cdot 2,5 \text{ сом}) : 4 = 22,5 \text{ сом/т}.$$

#### 6. Затраты на прессование - $Z_{\text{П}}$

Затраты на прессование рассчитывают по расходу электроэнергии на двигатель прессового оборудования общей мощностью 7,5 кВт, с учетом производительности пресса (3 т/ в час) 4 т/в смену. Тогда затраты на 1 тонну брикетов при прессовании составляют:

$$Z_{\text{П}} = (7,5 \text{ кВт} \cdot 1,5 \text{ ч} \cdot 2,5 \text{ сом}) : 4 = 7,03 \text{ сом/т}$$

7. Заработная плата рабочего -  $Z_{\text{ЗП}}$ . Рассчитывается исходя из численности (1 чел.) обслуживающего персонала и заработной платы на 1 одного работника – 30000 сом.

$$(30000 \text{с} : 24 \text{ раб. дн.}) : 4 \text{ т} = 312,5 \text{ сом/т}.$$

8. Прочие затраты -  $Z_{\text{ПР}}$ . Потребление электроэнергии на собственные нужды примерно составляет  $2 \text{ кВт} \cdot 2,5 = 5 \text{ сом/т}$

Таким образом, общие технологические затраты на производство 1 т брикетов будут равны:

$$\begin{aligned} 1. Z_{\text{ТЕХН}} (\text{для Жатан}) &= Z_{\text{У}} + Z_{\text{СВ}} + Z_{\text{ПУ}} + Z_{\text{ПС}} + Z_{\text{ПШ}} + Z_{\text{П}} + Z_{\text{ЗП}} + Z_{\text{ПР}} = \\ &= 3000 + 35 + 40,01 + 35,62 + 22,5 + 7,03 + 312,5 + 5 = 3457,66 \text{ сом/т}. \end{aligned}$$

$$2. Z_{\text{ТЕХН}} (\text{для Кожо-Келен}) = Z_{\text{У}} + Z_{\text{СВ}} + Z_{\text{ПУ}} + Z_{\text{ПС}} + Z_{\text{ПШ}} + Z_{\text{П}} + Z_{\text{ЗП}} + Z_{\text{ПР}} = \\ = 3000 + 35 + 40,01 + 35,62 + 22,5 + 7,03 + 312,5 + 5 = 3657,66 \text{ сом/т.}$$

$$3. Z_{\text{ТЕХН}} (\text{для Кызыл-Булак}) = Z_{\text{У}} + Z_{\text{СВ}} + Z_{\text{ПУ}} + Z_{\text{ПС}} + Z_{\text{ПШ}} + Z_{\text{П}} + Z_{\text{ЗП}} + Z_{\text{ПР}} = \\ = 3500 + 35 + 40,01 + 35,62 + 22,5 + 7,03 + 312,5 + 5 = 4157,66 \text{ сом/т.}$$

I. Расчет годового ЭЭ брикетирования для Жатанского угля по варианту 1:

$C_M = 3000$  сом (себестоимость штыба по демпинговой цене),

$N_M = 1000$  тонна,  $P_C = 506340$  сом,  $H_a = 5,5$ ,  $T = 20$  лет,  $N_B = 1000$  тонна,

$$Э_B = \frac{P_C + (H_a \cdot T) + Z_{\text{ТЕХН}} \cdot N_B \cdot T}{N_B \cdot T} = \frac{506340 + (5,5 \cdot 20) + 3457,66 \cdot 1000 \cdot 20}{1000 \cdot 20} = 3482,98 \text{ сом}$$

Расчет годового ЭЭ брикетирования для Кожо-Келенского угля по варианту 1:

$C_M = 3000$  сом (себестоимость штыба по демпинговой цене),

$N_M = 1000$  тонна,  $P_C = 506340$  сом,  $H_a = 5,5$ ,  $T = 20$  лет,  $N_B = 1000$  тонна,

$$Э_B = \frac{P_C + (H_a \cdot T) + Z_{\text{ТЕХН}} \cdot N_B \cdot T}{N_B \cdot T} = \frac{506340 + (5,5 \cdot 20) + 3657,66 \cdot 1000 \cdot 20}{1000 \cdot 20} = 3682,98 \text{ сом}$$

Расчет годового ЭЭ брикетирования для Кызыл-Булакского угля по варианту 1:

$C_M = 3500$  сом (себестоимость штыба по демпинговой цене),

$N_M = 1000$  тонна,  $P_C = 506340$  сом,  $H_a = 5,5$ ,  $T = 20$  лет,  $N_B = 1000$  тонна,

$$Э_B = \frac{P_C + (H_a \cdot T) + Z_{\text{ТЕХН}} \cdot N_B \cdot T}{N_B \cdot T} = \frac{506340 + (5,5 \cdot 20) + 4167,66 \cdot 1000 \cdot 20}{1000 \cdot 20} = 4192,98 \text{ сом}$$