

# **ТЕХНОЛОГИЯ И МАШИНЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА УГОЛЬНЫХ БРИКЕТОВ ИЗ УГЛЕЙ ЭКИБАСТУЗСКОГО УГЛЯ**

кандидат технических наук (PhD), профессор НАО «Торайгыров  
Университеті»

Абдрахманов Ермаганбет Сейсенбекович

## **Введение**

Экономное и рациональное использование сырьевых ресурсов, стимулирующее рост промышленного производства, является одним из основных требований, выдвигаемых Правительством РК в области дальнейшего развития обрабатывающих отраслей промышленности. В Государственной программе индустриально-инновационного развития на 2020–2024 годы одним из приоритетных секторов экономики является - производство машин и оборудования для горнодобывающей промышленности [1, 2].

В угольной промышленности для окускования угольной мелочи перспективным технологическим процессом является брикетирование, где основным типом оборудования являются прессы различной конструкции.

Основание и исходные данные для разработки темы. По запасам угля Республика Казахстан занимает 8 место в мире. В Казахстане из 155 известных угольных месторождений изучено более 40 с промышленными запасами около 35,8 млрд. т (3,6 % мировых запасов). Наиболее крупными из них являются Экибастузский (12,5 млрд. т), Карагандинский (9,3 млрд. т) и Тургайский (5,8 млрд. т) угольные бассейны.

Экибастузский угольный бассейн разрабатывается открытым способом, что в свою очередь отрицательно сказывается на экологической обстановке региона. Загрязняющими факторами здесь являются вскрышные работы и отвалы после них. Одним из самых тяжелых загрязняющих факторов является унос ветром угольной пыли и мелочи с открытых угольных разработок и отвалов. Уносимые частицы осаждаются на близлежащих участках. Это наносит непоправимый вред землям, пригодных для ведения сельского хозяйства.

Обоснование необходимости проведения НИР. Одной из проблем брикетирования на данный момент являются невозможность получения брикетов без внесения в него негорючих связующих, которые, в свою очередь, снова будут повышать и без того высокую зольность брикетов. В данном проекте, в качестве ноу-хау, рассматривается возможность получения в роли связующего переработанные органические продукты жизнедеятельности крупного рогатого скота или некоторые побочные продукты перегонки нефти, которые являются горючими веществами и не будут снижать процентное содержание теплотворной части брикета.

Научно-технический уровень разработки. Данные разработки имеют существенное значение для практики обогащения угля и переработки некондиционной мелочи. Впервые на основании экспериментальных данных

предложен способ получения топливных брикетов с использованием некондиционной мелочи экибастузского угля и добавлением «ноу-хау» материалов.

Выполнены конструкторские работы по проектированию валкового брикетизирующего пресса и шнекового смесителя с обогревателем.

Метрологическое обеспечение НИР. При выполнении части Проекта использовались общепринятые методы теоретических и экспериментальных исследований широко известные в металлургии, машиностроении, современные методы проектирования машин и механизмов с применением компьютерных систем проектирования и инженерного анализа и т.д.

Актуальность темы. Одним из самых эффективных методов решения этой проблемы являются использование накопившейся угольной пыли и мелочи для производства угольного брикета.

Изготовление топливного брикета, при всей привлекательности этой идеи, имеет не такую уж длинную историю. Реальный интерес к этому вопросу приобрел свою остроту и актуальность только в последнее время в связи со значительным подорожанием топлива, в том числе и угольной продукции. Большинство попыток организовать производство угольных брикетов сводилось на нет либо дороговизной технологии, либо неудовлетворительных качеством и характеристиками полученных брикетов, связанными с применением дешевых, но плохо горючих связующих веществ, которые многократно увеличивали зольность и минимизировали результативность продаж.

Сущность идеи заключается в получении брикетов из угольной мелочи и пыли высокзольных углей Экибастузского месторождения с возможностью последующего коксования, путем повышения в нем содержания углерода, то есть теплотворной части. Для этих целей планируется использование разрабатываемой на данный момент технологии получения технического углерода путем переработки резинотехнических отходов и анодной пыли электролизного производства алюминия. Проведенные предварительные эксперименты четко показали пригодность данных материалов для обогащения топливных и промышленных брикетов. Таким образом, попутно решается задача утилизации этих отходов [1].

Новизна темы:

- установлены характеристики брикетов на биосвязующих и на нефтяном пеке;

- выявлено, что теплотворная способность брикетов выше, чем экибастузского угля на 20–40 %, причем теплотворная способность наиболее высокая у брикетов с обогатителем в виде анодной пыли электродов электролизного производства алюминия и связующем в виде нефтяного пека ( $-\Delta H^0_{\text{сгорания}} = 6840,8$  ккал/кг);

- разработана технология изготовления брикетов на нефтяном пеке;

- разработана конструкция и рабочие чертежи валкового брикетизирующего пресса и шнекового смесителя с обогревателем.

Связь с другими научно-исследовательскими работами. Данное исследование соответствует направлению – «Комплексное использование минерального сырья, переработка отходов, экологическая безопасность и развитие региональной энергетики».

Цель этапа исследований и место в выполнении НИР в целом:

- исследование, научное обоснование технологии получения высококалорийных угольных брикетов из мелочи Экибастузского угля с применением связующего в виде нефтяного пека, проектирование и изготовление оборудования для осуществления технологии.

Задачи этапа исследований и место в выполнении НИР в целом:

1. Исследование адгезионно-когезионных свойств связующих материалов (нефтяной пек).
2. Исследование, разработка технологии изготовления брикетов на нефтяном пеке. Сравнительный анализ с брикетами, изготовленными на биосвязующих.
3. Проектирование валкового брикетирующего пресса и шнекового смесителя с обогревателем.

Апробация практических результатов. Результаты работы доложены и обсуждены на международных научных конференциях «XVI Сатпаевские чтения» – Павлодар, 2016, «Переработка промышленных отходов, как залог экологической безопасности» – Павлодар: 2016, проводимой в рамках международного инвестиционного форума «ERTYS INVEST 2016», организованного Акимом Павлодарской области, получены две заявки на патент РК, заключен меморандум о сотрудничестве с ТОО «Институт химии угля и технологии» (г. Астана) для дальнейшей коммерциализации проекта.

## **1 Экологические аспекты использования мелочи высокосольных углей Экибастузского месторождения**

### **1.1 Краткая характеристика Экибастузского угля и связанные с этим экологические проблемы Павлодарского региона**

В Экибастузском бассейне установлено шесть угольных пластов рабочей мощности, из которых пласты 6 и 5 приурочены к Ашлярикской свите, а остальные – к Экибастузской. Промышленными и разрабатываемыми являются пласты Экибастузской свиты. Угли бассейна каменные, гумусовые, высокоминерализованные, характеризуются сложным вещественно-минералогическим составом. Зольность углей очень высокая и достигает 40–49 %. Зола содержит большое количество  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и малое содержание  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и  $\text{CaO}$ . Содержание серы изменяется от 0,32 до 1,03 %, фосфора – 0,014–0,061 %. Большая мощность и простые условия залегания угольных пластов, малый коэффициент общей вскрыши, низкая обводненность и хорошая устойчивость бортов карьера обусловили благоприятные горно-геологические условия отработки открытым способом [4].

Ученные госбалансом запасы Экибастузского бассейна оцениваются в 10180,7 млн. т, из них: 1312,0 млн. т по разрезу «Восточный», 1250,4 млн. т – «Богатырь», 1856,9 млн. т – «Северный». Эти разрезы соответственно отрабатываются ОАО «Евроазиатская энергетическая корпорация», ТОО «Богатырь АксесКомир» и ЗАО «Энергоуголь» корпорации «Единый энергетический комплекс» и «Богатырь» составляет 13,8 и 17,4 млн. т, по разрезу «Северный» – 8,9 млн. т. При таких темпах добычи обеспеченность запасами по разрезам «Восточный» и «Богатырь» составляет 70–100 лет, а «Северному» – около 200 лет.

Нами установлено, что Экибастузском угле может содержаться около 46–67% балласта. Это значит, что при сжигании 1 кг угля тепло будет выделять только 54–33% топлива, остальное останется просто золой, поэтому перед брикетированием угля необходимо его предварительное обогащение.

Предлагаемый способ для обогащения Экибастузского угля, является метод повышения процентного содержания углерода в топливе путем смешивания угольной мелочи с сажей. Резинотехническая, высококачественная сажа содержит 96–98 % углерода.

Для этих целей используется разработанная технология получения технического углерода путем переработки резинотехнических отходов. Проведенные эксперименты, четко показали пригодность технического углерода для обогащения топливных и коксуемых брикетов. В результате смешивания угольной мелочи и сажи мы снизили выход золы из топлива до 15–17 %.

Реализация данного проекта имеет большие перспективы в национальном и международном масштабе. В ходе предварительных исследований и анализа Экибастузского угля коллективом авторов было установлено, что в основном объеме добываемого угля около 17% составляет угольная мелочь фракцией порядок 0,3 – 3 мм. Это позволяет получать топливные и коксуемые брикеты с минимальными затратами на их подготовку, что позволяет предполагать высокую практическую значимость проекта и возможность дальнейшей коммерциализации.

Результаты проекта будут интересны компаниям, занимающимся добычей и реализацией угля, а также его потребителям, у которых происходит накопление некондиционной угольной мелочи.

## **2 Обогащение Экибастузского угля сухим способом. Характеристика и технология получения сажи**

Обогащением угля называется процесс, при котором в топливе уменьшается содержание минеральных примесей и пустых пород, а так же происходит разделение угля на сорта по критерию размера кусков. Обогащать уголь также возможно повышая углеродную часть, то есть добавляя технический углерод (сажу) или графит.

Сажой называется порошкообразный продукт неполного сгорания или термического разложения органических веществ, состоящий в основном из

углерода. В результате исследований сажи под электронным микроскопом установлено, что она состоит из частиц размером 60–100 А, образующих более или менее разветвленные цепочки, так называемые сажевые структуры.

Форма частиц большинства видов сажи близка к сферической. У многих саж поверхность частиц сравнительно гладкая, но бывают сажи с шероховатой поверхностью частиц, что является следствием выгорания атомов углерода, расположенных на поверхности сажевых частиц, во время процесса сажеобразования.

В общем виде, процесс обогащения состоит из следующих операций: дробления, измельчения, просеивания, классификаций либо флотаций, сушки и повторного дробления. Как показывает практика, энергетические затраты на традиционное обогащение Экибастузского угля не оправдывают себя, так как все выше перечисленные технологические операций довольно энергоемкие. Поэтому, данная проблема посей день, является актуальной.

Вообще, обогащение угля – это процесс классификации, дробления, снижения серосодержания, зольности и повышения его теплотворной способности. Для энергетических марок углей из-за неоднородности угольной массы в первую очередь важны два показателя – зольность и серность.

Сущность нашей идеи заключается в получении брикетов из угольной мелочи и пыли высокозольных углей Экибастузского месторождения, с возможностью последующего коксования, путем повышения в нем содержания углерода, то есть теплотворной части.

Для этих целей планируется использовать разработанную на данный момент технологию получения технического углерода путем переработки резинотехнических отходов. Проведенные эксперименты, четко показали пригодность технического углерода для обогащения топливных и коксуемых брикетов. Таким образом, попутно решается задача утилизаций этих самых резинотехнических отходов, которые, как известно, являются одними из самых широко распространенных видов отходов.

В ходе исследования и анализа Экибастузского угля нами было установлено, что в основном объеме добываемого угля около 17 % составляет угольная мелочь фракцией порядка 0 – 3,0 мм. Это позволяет получать топливные и коксуемые брикеты с минимальными затратами на подготовку.

Одной из проблем брикетирования на данный момент, является невозможность получения брикетов без внесения в него негорючих связующих, которые в свою очередь снова будут повышать без того высокую зольность брикетов. В данном проекте, в качестве ноу-хау рассматривается возможность применения в роли связующего биомассы крупнорогатого скота (КРС) для топливных брикетов, а в дальнейших исследованиях, применения нефтяного, каменноугольных пеков, лигнина и других связующих для промышленных брикетов.

При ситовом анализе мелочи Экибастузского угля нами установлено, что максимальный рассев сосредотачивается на трех смежных ситах – 0,4; 0,6; 0,8 мм, причем эта крупность составляет около 78 % вышеназванной мелочи.

Отсюда вытекает экономически обоснованный подход, что все технологические переделы получения топливных брикетов необходимо привязывать к крупности Экибастузской угольной мелочи 0,4 – 0,8 мм.

А это означает, что необходимо провести исследования по выбору размалывающего оборудования лабораторного типа.

Непременным условием процесса измельчения должно быть его экономичность, разумная длительность, простота устройства машины, надежность и безопасность ее работы.

Диапазон дисперсности, достижимый в каждой машине, обычно бывает велик, однако каждый из них в силу особенностей устройства свойственна некоторая дисперсность материала, при которой помол эффективен и экономичен.

Анализы проведенные по литературным источникам показали, что для размалывания частиц исходного бурого угля крупностью 4 – 6 мм больше всего подходят мельницы-дезинтеграторы лабиринтно-дискового типа.

Разработанный и изготовленный нами лабиринтный дезинтегратор (на конструкцию, которого получен патент) является не только размалывающим, но и смешивающим и гранулирующим оборудованием многокомпонентных сыпучих веществ. Нами, так же, исследована технология и оборудование получения технической сажи из материалов, подлежащих к утилизации [4].

### **3 Исследование адгезионно-когезионных свойств связующего материала в зависимости от гранулометрии компонентов брикета**

Исходная биомасса КРС смешивалась с 10 % технической водой и являлась параметром брикетной массы с постоянной вязкостью, пропущенной через сито ячейками 4,5×4,5 мм. Предварительно была определена зависимость удельной силы поверхностного натяжения биомассы от количества добавляемой воды.

Это делалось для того, что бы крупные остатки непереваренной травяной пищи КРС остались над решетом, а мягкие и тонкие волокна пищи участвовали в составе связующей.

Структурообразующие процессы брикетирования многокомпонентой массы со биосвязующими определяются сложными физико-химическими явлениями на границе раздела твердой и жидкой фаз в момент их объединения. Они во многом зависят от интенсивности уплотнения смеси и условий контактирования твердых частиц, покрытых клеевой пленкой в период прессования. Формирование структуры брикетов следует рассматривать как склеивание связующими разобщенных твердых материалов. Оно осуществляется в виде отдельных стадий, характерных для любого процесса склеивания.

В экспериментах, проведенных в лаборатории кафедры металлургии НАО «Торайгыров Университета» получение брикетной массы осуществлялось в следующем порядке. В начале, предварительно подготовленный до крупности 0,8–1,2 мм Экибастузский уголь смешивали

порошкообразным обогатителем в оптимальных пропорциях в лабораторном смесителе типа бегунов. По готовности смешивания этих компонентов добавлялось к ним оптимальное количество биосвязующего материала и перемешивалось в течение 5 минут. Полученную брикетную массу уплотняли в лабораторной гильзе на шеститонном прессе и после извлечения брикета из гильзы определяли основные его параметры. Заметили, что каждому этапу структурообразования присущи свои специфические особенности и характерные требования.

Полученный брикет можно рассматривать как дисперсную систему, где дисперсионная среда – связующее, а дисперсная фаза – брикетные сухие компоненты. Для такой системы характерны специфические процессы взаимного расположения и взаимосвязи ее отдельных элементов. Базируются они на известных явлениях адгезии, аутогезии и когезии.

В ходе исследования структуры сырых и сухих брикетов через микроскоп Метам ЛВ-34 и физико-механические свойства их на универсальном приборе установили следующее.

Процессы адгезионного взаимодействия твердых частиц с биосвязующим приводят к интенсивному их прилипанию. В результате в связующем происходят значительные структуро-механические изменения. В клеевой пленке появляются два слоя: адсорбционный, вязкость, плотность и прочность которого убывают по мере удаления от твердой поверхности, и объемный, который по своим свойствам не отличается от исходного связующего.

Дальнейшие процессы структурообразования обусловлены аутогезией. Для нее характерно прилипание контактирующих пленок связующего. В зависимости от того, по какому из полуслоев идет контактирование, достигается та или иная плотность склейки. Высокая вязкость адсорбционного слоя способствует энергичной липкости и высокой механической прочности брикета.

По мере повышения вязкости всей брикетной смеси субстраты – связующие комплексы и отдельные зерна, покрытые связующими, контактируют между собой.

В результате образуются более крупные объединения – вторичные ассоциаты.

На прочность аутогезии влияют связи, возникшие за счет механического застревания, переплетения волокон непереваренных пищевых остатков биосвязующего, переходящих из одного слоя в другой. Эти волокна представляют собой тонкие нити пропитанных липкими веществами желудочного тракта крупно-рогатого скота.

Они переплетают порошкообразные частицы компонентов брикета образуя структурные каркасы, а при прессовании брикетной смеси выдавливают из себя вышеназванные липкие вещества, тем самым повышая структурную прочность по всему объему сырого брикета. После сушки брикеты отвечают максимальной прочности, для данной связующей.

Для определения зависимости прочности брикеты от размера фракции угля при постоянных параметрах обогатителя и связующего, проводились

опыты. Брикетная масса готовилась в смесителе каткового типа в течение 5 минут в различных пропорциях.

По результатам проведенных экспериментов, можно сделать следующие выводы:

- В экспериментальной части рассматривался способ повышения содержания углерода в Экибастузском угле. Предлагаемый способ для обогащения Экибастузского угля, является метод повышения процентного содержания углерода в топливе путем смешивания угольной мелочи с сажей.

- В ходе исследования и анализа Экибастузского угля нами было установлено, что в основном объеме добываемого угля около 17 % составляет угольная мелочь фракцией порядка 0 – 3,0 мм. Это позволяет получать топливные и коксуемые брикеты с минимальными затратами на подготовку.

- Сажа использовалась резинотехническая, высококачественная содержание углерода в которой достигает 96 – 98%. Для получения этой сажи была разработана и собрана новая установка для улавливания сажи из резинотехнических изделий. В результате экспериментов было установлено, что при сжигании 1 кг автопокрышек выделяется в среднем 24 гр. сажи. В результате смешивания угольной мелочи и сажи мы снизили выход золы из топлива с 34 – 57 % до 15 – 17 %.

- Состав смеси с содержанием угля 40 %, сажи 40 %, биомассы 20 % при размерах фракций угля 0,8 мм, можно взять за основной, так как при этих значениях выходит минимальное количество золы, равное 15 %.

- С помощью прибора для определения прочности брикета выяснили, что чем меньше дисперсность составляющих компонентов брикета, тем прочность брикета будет больше.

А также, нами рассчитаны, спроектированы и изготовлены лабораторные сажеуловительные и мунштучные брикетирующие установки.

#### **4 Экспериментальные работы автора**

Для получения топливных и промышленных брикетов из обогащенного Экибастузского угля необходимо определить постоянные параметры брикетов, такие как геометрические размеры, сырая и сухая прочность и плотность при постоянных значениях составляющих компонентов.

Компонентами брикета являются: мелочь Экибастузского угля крупностью 0,8 – 1,2 мм порошкообразные обогатитель и связующий материал с крупностью порядка 0,8 мм.

Тогда перед нами встает вопрос об оперативном управлении структурой слоя дисперсных материалов для получения заданных свойств брикетов. В этой связи становятся актуальными исследования, направленные на разработку физико-математических моделей дисперсных сред и совершенствование технологических процессов для получения прочных и плотных брикетов.

К брикетам промышленного направления предъявляют требования:

- как к физическому телу способному выдерживать механические нагрузки при транспортировании и при горении до определенного состояния.
- как к химически активному веществу, подверженному окислению при горении и способному выделять максимальное количество калорий и минимальное количество золы.

Эти условия можно удовлетворить, если построить структуру брикета по принципу композиционного материала: каркас из угольного зерна (наполнителя), связующее из нефтяного пека и обогатителя из резиновой сажи или пыли анодных электродов. Согласно теории композиционных материалов, конечный продукт – композит превосходит по своим свойствам все три составляющие по отдельности.

Аналитически установлены расчетные диаметры порошкообразных компонентов брикетной массы: угля – 1,2 мм, нефтяного пека – 0,8 мм, анодной пыли – 0,8 мм.

#### **4.1 Дозировка компонентов брикетной массы**

До смешивания все компоненты брикетной массы находятся в порошкообразном состоянии. При сухом смешивании эти компоненты должны распределяться относительно друг друга равномерно. Дальнейшее перемешивание осуществляется в рабочей полости смесителя с нагревательной системой, где брикетная масса нагревается до температуры 170 – 200 0С. Продолжительность нагрева зависит от физико-химических свойств связующего и интенсивности перемешивания, то есть от типа смесителя. Тепло проходя через перемешиваемую массу нагревает компоненты смеси, где частица нефтяного пека растапливаясь обволакивают частицы угля и частицы обогатителя.

По этой концепции при технологически достаточной степени перемешивания частиц связующий полностью обволакивает твердые частицы наполнителя (угля) и обогатителя (анодной пыли). Пленкой определенной толщины. Поэтому, дозировка связующего играет первостепенную роль при подготовке брикетной массы.

#### **4.2 Определение количественного соотношения компонентов в одном брикете**

Рассмотрим процесс уплотнения брикетной массы, нагретой до 170 0С в лабораторной гильзе размерами рабочей полости: диаметр 50 мм, длина 120 мм.

Необходимым было определение весовое и процентное содержание компонентов брикетной массы, если по техническому заданию:

- диаметр брикета 50мм, высота – 50 мм;
- крупность Экибастузского угля 0,8 – 1,2 мм;

- содержание угля в брикете должно составлять 50 % от объема;
- крупность анодной пыли 0,2 мм;
- крупность частиц нефтяного пека в холодном состоянии 0,4 мм;
- плотность готового брикета 1,38 – 1,45 г/см<sup>3</sup>;
- прочность готового брикета на сжатие 0,20 – 0,22 МПа;
- энтальпия сгорания угольных брикетов не ниже 20000 кДж/кг (5000 ккал/кг).

Расчет произведен на средние значения компонентов брикета и, учитывая малый объем рассматриваемого объекта, линейные размеры берем в сантиметрах, массовые в граммах. Конечные результаты переведены в единицы системы СИ.

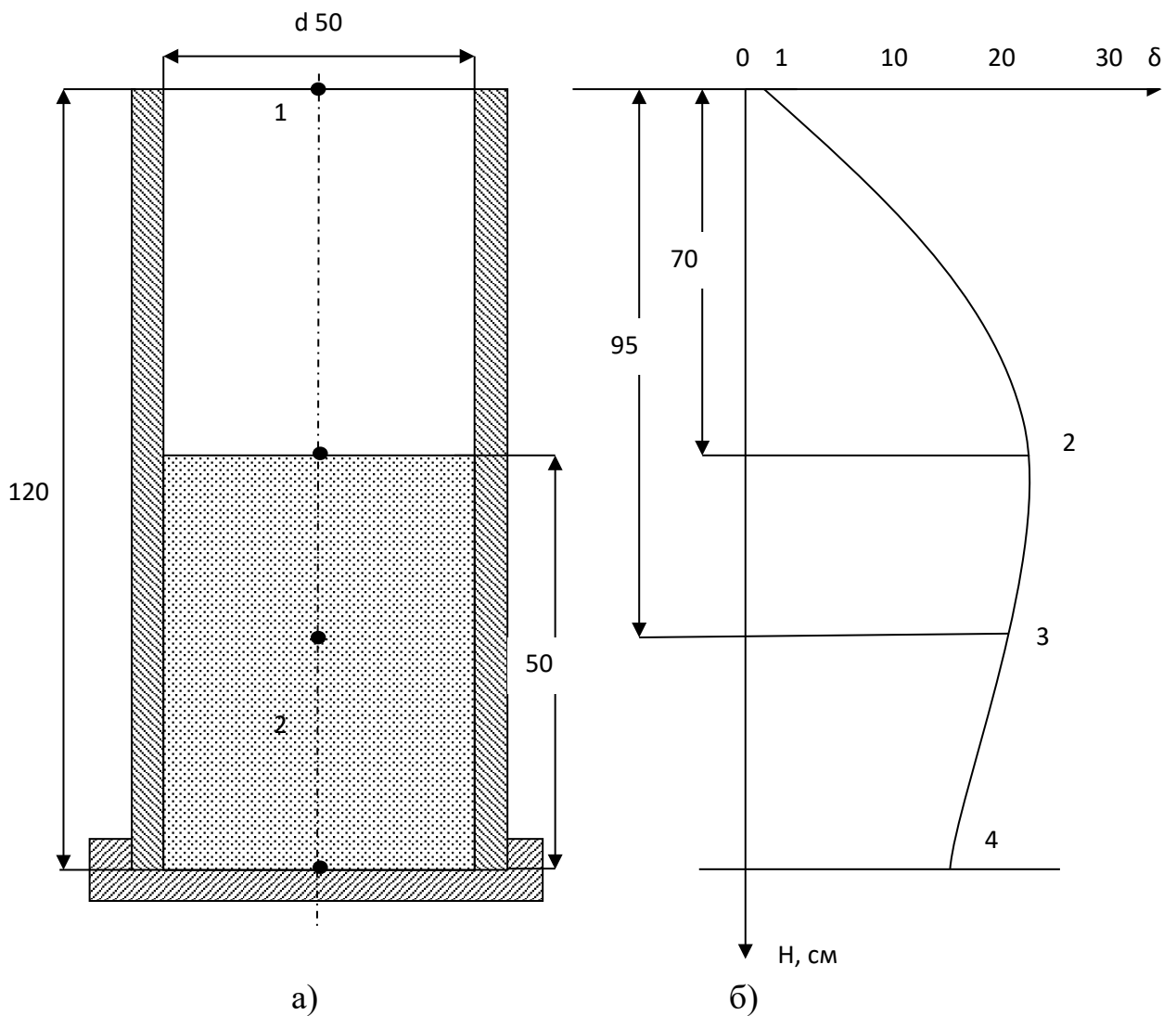
В результате проведенных экспериментов, для получения угольного брикета на нефтесвязующем, размерами  $d=50$  мм,  $h=50$  мм, получена необходимая брикетная масса равным 140 г, что составляет общую плотность готового брикета равным 1,43 г/см<sup>3</sup>. В такой массе компоненты распределялись по массе:

- для угля:  $m_y = 45,57 \cdot 1,37 = 62,4 = 62$  г.
- для нефтяного пека:  $m_n = 33,37 \cdot 1,21 = 40,8 = 41$  г.
- для анодной пыли:  $m_a = 18,26 \cdot 2,0 = 36,5 = 37$  г.

## 5 Прессование компонентов брикетной массы

Исследования по получению угольных брикетов велись в лабораторной гильзе по выбранной рецептуре. В ряде работ [73, 74] уплотняющим усилием рекомендовано давление 20 – 50 МПа для угольных брикетов. Для пресса модели 91271Б выбрано усилие 5000 кгс, что создает удельное давление в гильзе  $P_{уд} = 25,5$  МПа.

Это удельное давление будем считать оптимальным уплотняющим технологическим фактором для любого прессующего оборудования. На рисунке 1, а показан окончательно оформленный брикет в гильзе, а на рисунке 1, б показано, как рыхлая смесь с начальной плотностью 0,06 МПа по мере движения уплотняющего прессового пуансона (не показан) вниз уплотняется с изменением напряжения по высоте смеси в гильзе. Прямоугольная система координат  $[\delta, H_{см}]$  выбрана по ходу движения пуансона, сверху-вниз.



а – гильза лабораторная с уплотненной брикетной смесью и съемным поддоном; б – изменение прессующего напряжения по высоте брикетной смеси

Рисунок 1 – Гильза лабораторная с уплотненной брикетной смесью и съемным поддоном и изменение прессующего напряжения по высоте брикетной смеси

Изменение уплотняющего напряжения в такой системе для дисперсных тел записывается в общей форме в виде экспоненциальной закономерности

$$\delta_{i-1} = \delta_i - \delta_i \times e^{-(\xi \cdot f \cdot \frac{U}{F}) \cdot h_i}, \text{ МПа} \quad (3.1)$$

где  $\delta_{i-1}$  – искомое напряжение в смеси, МПа;

$\delta_i$  – напряжение в предыдущей точке по кривой графика, МПа;

$\xi$  – коэффициент бокового давления брикетной смеси на внутреннюю стенку гильзы при продвижении пуансона вниз. Экспериментально, в стабилометре установлено, что для нашей смеси при  $t = 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $\xi = 0,35$ ;

$f = 0,7$  – коэффициент трения смеси об стальную поверхность гильзы при  $t = 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;

$U$  – периметр внутренней стенки гильзы, см;

$F$  – площадь поперечного сечения гильзы (брикета),  $\text{см}^2$ ;

$h_i$  – рассматриваемая точка начиная от верхней кромки гильзы, см;

$i = 1, 2, 3, 4$  – последовательность технологических точек.

Таким образом, точка 1 характеризует только соприкосновение прессующего пуансона со смесью и по мере углубления пуансона до точки 2 напряжение в смеси растет до максимального значения, т.е. до 25,5 МПа. Согласно формуле (3.1) для точки 3  $\delta_{(\cdot)3} = 21,4$  МПа, для точки 4  $\delta_{(\cdot)4} = 19,4$  МПа.

Найденные значения точек соединяем плавной линией, которая характеризует изменение прессующего напряжения по высоте брикетной смеси.

По мере изменения уплотняющего напряжения в смеси, адекватно изменяется и плотность по высоте готового брикета.

Для этого рассчитаем среднюю плотность такого брикета, уплотненного вышеприведенным способом:  $m_6 = 140$  гр,  $V_6 = 98\text{ см}^3$ ,  $\rho_6 = 1,42\text{ г/см}^3$ .

Если точки из графика перенесем в тело брикета, то найденная плотность  $1,42\text{ г/см}^3$  будет соответствовать точке 3 (рисунок 3.5, б).

Составим пропорции

$$\frac{\delta_{(\cdot)2}}{\delta_{(\cdot)3}} = \frac{\rho_{(\cdot)2}}{\rho_{(\cdot)3}}, \text{ т.е. } \frac{25,5}{21,4} = \frac{\rho_{(\cdot)2}}{1,42}, \text{ т.е. } \rho_{(\cdot)2} = 1,69\text{ г/см}^3$$

$$\frac{\delta_{(\cdot)3}}{\delta_{(\cdot)4}} = \frac{\rho_{(\cdot)3}}{\rho_{(\cdot)4}}, \text{ т.е. } \frac{21,4}{19,4} = \frac{1,42}{\rho_{(\cdot)4}}, \text{ т.е. } \rho_{(\cdot)4} = 1,29\text{ г/см}^3$$

Из этих расчетов видно, что разброс плотности относительно в небольшой высоте брикета (50 мм) составляет порядка 15 %. Как известно, в композитных веществах, как исследуемый брикет, разброс плотности вызывает разброс прочности по всему объему, что негативно отражается в дальнейшем их применении. Отсюда возникает важный вывод исследования: не следует применять для уплотнения связно-сыпучих дисперсных тел, оборудования с вертикальным одноосным формообразующим органом.

Существующие мундштучные, штемпельные прессы, хотя, относятся к машинам с горизонтальным формообразующим одноосным узлом, но они уплотняют брикеты порциями смеси, что приводят к небольшим, в пределах нормы, разбросам по плотности и прочности.

## Список использованных литератур

- 1 Абдрахманов Е.С. Получение высококалорийных угольных брикетов из Экибастузского угля с применением ноу-хау материалов / Е.С. Абдрахманов // Павлодар : Toraighyrov University. – 2020. – 207 с.
- 2 An experimental study on binderless briquetting of low-rank coals : научное издание / Y. Han [et al.] // Chem. Eng. and Technol. – 2013. – Vol. 36, N 5. – P749-756. – 40 . – ISSN 0930-7516.
- 3 Брикетирование природного сырья и промышленных отходов как инновационный техноэкологический ресурс : научное издание / Г. Б. Мелентьев, В. М. Короткий // Проблемы рационального использования природного и техногенного сырья Баренц-региона в технологии строительных и технических материалов. – Апатиты, 2013. – С. 180–183, 204 . – ISBN 978-5-91137-247-7.
- 4 Утилизация отходов горных предприятий Казахстана : научное издание / Л. А. Якушев [и др.] // Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр. – М., 2014. – С. 401–404. – 2 . – ISBN 5-201-15628-2.
- 5 Влияние регулирования влажности и брикетирования угля на структуру и реакционную способность кокса : научное издание / Цуй Пин [и др.] // Кокс и химия. – 2015. – № 4. – С. 23–31 . – ISSN 0023-2815.
- 6 Diez M. A. Briquetting of carbon-containing wastes from steelmaking for metallurgical coke production : научное издание / M. A. Diez, R. Alvarez, J. L.G. Cimadevilla // Fuel. – 2013. – Vol. 114. – P.216–223 . – ISSN 0016-2361.
- 7 Zanjani N. Gholipour Physical and chemical properties of coal briquettes from biomass-bituminous blends : научное издание / N. Gholipour Zanjani, A. Zarringhalam Moghaddam, S. Dorosti // Petrol. and Coal. – 2014. – Vol. 56, N 2. – P188–195 . – ISSN 1337-7027.
- 8 Достижения в исследовании механизма брикетирования : научное издание / Yue Wang, Xiangfei Bai // Jiejingmei jishu. – 2014. – Vol. 20, N 3. – С. 8–11. – 25 . – ISSN 1006-6772.
- 9 Васильев В. С. Брикетирование угольных шихт в вальцовых прессах : научное издание / В. С. Васильев // Уголь Украины. – 2013. – N 4. – 40–46, обл. 3 : 2 ил. – 19 . – ISSN 0041-5804.
- 10 Степанова Н. В. Брикетирование угольной пыли как способ переработки отходов угольных разрезов (на примере ООО «СУЭК-Хакасия «Разрез Черногорский»)) : научное издание / Н. В. Степанова, А. И. Волкова // Окружающая среда: эффективное природопользование и здоровье человека. – Сибай, 2013. – С. 29-33. – 7 . – ISBN 978-5-905062-46-9.
- 11 Рассказова А. В. Обоснование рациональных параметров брикетирования бурого угля с применением механоактивации топливных компонентов : автореф. дис. на соиск. уч. степ. : Автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук : 25.00.13 / А. В. Рассказова ; Забайк. гос. ун-т, Чита. – Чита, 2014. – 27 с.

12 Губайдуллин А. Б. Брикетирование угля : научное издание / А. Б. Губайдуллин, М. Н. Борщев // 2 Международная научно-практическая конференция «Современные тенденции и инновации в науке и производстве», Междуреченск, 3–5 апр., 2013. - Кемерово, 2013. – С. 70–73. – 9 . – ISBN 978-5-89070-898-4.

13 Андреев С. Е., Зверевич В. В., Перов В. А. Дробление, измельчение и грохочение и полезных ископаемых – М. : Недра, 1966.

14 Моргулис М. Л. Вибрационное измельчение материалов. – М. : Стройиздат, 1957.

15 Хабердигтцл В. Строение материи и химическая связь. – М. : Химия, 1974, 328 с.

16 Сумм Б. Д., Горюнов Ю. В. Физико-химические основы смачивания и растекания. – М. : Химия, 1976, 236 с.

17 Горчаков Г. И. Состав, структура и свойства цементных бетонов. – М. : Стройиздат, 1976, 186 с.

18 Кайнарский И. С. Процессы технологии огнеупоров. – М. : Metallurgy, 1969. – 280 с.

19 Янко Э. А. Аноды алюминиевых электролизеров. – М. : Руда и металлы, 2001.

20 Елишевич А. Т. Брикетирование полезных ископаемых. – Донецк : издательство ДПИ, 1985. – 220 с.

21 Равич Б. М. Брикетирование руд и руднотопливных шихт. – М. : Недра, 1968. – 168 с.

22 Валковый брикетирующий пресс / Патент РФ № 2465142, кл. В30В 11/18, 2012.

23 Валковый брикетирующий пресс для изготовления топливных брикетов / Патент РФ № 2327574, кл. В30В 11/18, 2008.

24 Валковый пресс для брикетирования сыпучих материалов / Патент RU № 2306226 кл. В30В 11/18, 2007.

25 Пресс валковый для брикетирования полидисперсных сыпучих материалов / Патент RU № 2450930 кл. В30В 11/18, В30В 15/30, В08В 3/02, 2012

26 Валковый пресс для брикетирования сыпучих полидисперсных материалов / Патент РФ № 2450928, кл. В30В 11/18, 2012

27 Пресс-валковый агрегат / Патент RU № 2133673 кл. В30В 11/18, В22F 3/02, 1999