

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего профессионального образования
**«Кузбасский государственный технический университет
им. Т.Ф. Горбачева»**

Г. Л. Евменова

Окускование угольной мелочи

Учебное пособие по дисциплине факультатива
«Брикетиrowание, гранулиrowание, пелетирование»

Рекомендовано в качестве учебного пособия
учебно-методической комиссией специальности
130405 «Обогащение полезных ископаемых»

Кемерово 2012

Рецензенты

Клейн М.С., проф. кафедры обогащения полезных ископаемых

Удовицкий В.И., председатель учебно-методической комиссии специальности 130405 «Обогащение полезных ископаемых»

Евменова Галина Львовна. Окускование угольной мелочи»: учебное пособие по дисциплине факультатива «Брикетирование, гранулирование, пелетирование» [Электронный ресурс]: для студентов специальности 130405 «Обогащение полезных ископаемых» / Г. Л. Евменова. – Электрон. дан. – Кемерово: КузГТУ, 2012. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM) ; зв. ; цв.; 12 см. – Систем. требования : Pentium IV ; ОЗУ 8 Мб ; Windows XP ; (CD-ROM-дисковод) ; мышь. - Загл. с экрана.

Целью работы является оказание помощи при изучении дисциплины «Брикетирование, пелетирование, гранулирование».

Пособие состоит из двух разделов. В первом разделе кратко изложены основы теории процессов окускования угольной мелочи: брикетирования, пелетирования, гранулирования. Описаны схемы, конструкции и принцип действия оборудования, используемого для этих процессов.

Во втором разделе пособия приведены методические указания к лабораторному практикуму по получению гранул и пелет из каменноугольной мелочи.

Учебное пособие иллюстрировано схемами, рисунками, необходимыми для успешного усвоения материала дисциплины.

© КузГТУ, 2012

© Г. Л. Евменова

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	С. 3
1. НАЗНАЧЕНИЕ И СПОСОБЫ ОКУСКОВАНИЯ	
УГОЛЬНОЙ МЕЛОЧИ	6
1.1. Брикетирование	8
1.1.1. Связующие вещества для брикетирования.....	22
1.1.2. Новые технологии брикетирования угольной мелочи.....	26
1.2. Получение топливных гранул.....	30
1.3. Pelletирование.....	38
1.4. Производство формованного топлива (кокса).....	43
1.5. Экономическая эффективность использования окускованного топлива.....	46
2. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	48
2.1. Получение гранул из каменноугольной мелочи.....	48
2.2. Получение пелет из каменноугольной мелочи.....	51
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	54

Введение

В энергетических целях уголь используется для пылевидного сжигания, слоевого сжигания, на коммунально-бытовые нужды и т.д. К твердому топливу предъявляются различные требования, при соблюдении которых должна обеспечиваться высокая эффективность его использования.

При пылевидном сжигании имеют место меньшие, по сравнению с другими видами сжигания, тепловые потери, повышается коэффициент полезного действия (КПД) топок и котельных установок, а также представляется возможным сжигать высокозольное топливо. Как правило, топки с пылевидным сжиганием наиболее экономичны для котлов с большой производительностью.

Для пылевидного сжигания используются угли всех марок в виде отсевов классов 0–6, 0–13, 0–25, 0–50 мм, а также рядовые угли, промпродукт и реже шлам углеобогачительных фабрик. Однако строительство котлов большой производительности требует значительных капитальных затрат, и в этом случае рациональное использование тепловой энергии при наличии мелких и пространственно разрозненных потребителей весьма проблематично.

Слоевые топки целесообразно применять в котлоагрегатах производительностью до 10 кг/с пара для сжигания различных каменных углей [1]. В слоевых топках не рекомендуется использовать рядовые антрациты и тощие угли, антрацитовый штыб и отходы углеобогащения, так как не обеспечивается надежное и экономичное их сжигание. Повышенное содержание мелочи в несортированном рядовом угле способствует развитию кратерного горения топлива, в результате зона горения топлива уменьшается, увеличивается потеря тепла от механического недожога и снижается производительность пароагрегата.

Для коммунальных нужд (бани, прачечные, котельные жилых домов, школ, больниц и т.д.) требования к углям предъявляются такие же, как и к топливу для слоевых топок; для бытовых нужд населения (печные топки) должны также поставляться качественные угли.

Согласно потребительским стандартам угольное топливо для потребителей со слоевой системой сжигания должно иметь высокую теплоту сгорания и равномерный состав (размер кусков не менее 13 мм). Эти показатели оказывают существенное влияние на КПД печей и экономическую эффективность использования топлива. Высокая цена на

уголь обязывает потребителя при покупке обращать внимание на его качество, что гарантирует эффективность использования такого топлива. Однако в настоящее время выпуск высококачественного угля недостаточен. Вследствие этого происходит сжигание каменноугольной мелочи и рядового угля в слоевых топках и бытовых печах, не приспособленных для этой цели, что приводит к малоэффективному использованию топлива из-за больших потерь в виде просыпи под колосники и угольной пыли, уносимой с дымовыми газами, что, в свою очередь, существенно увеличивает загрязнение окружающей среды.

В России для жилищно-коммунального хозяйства используется 15–20 % от общей добычи угля. Годовая потребность в сортовом топливе (кусках угля определенного размера) в настоящее время достигает 75–77 млн т в год, в том числе для населения – до 40 млн т, при этом имеет место стойкий дефицит, который сохранится в перспективе, если не будут приняты меры по его снижению [2].

Количество угольной мелочи при добыче рядового угля возрастает с каждым годом, что обуславливается ухудшением горно-геологических условий залегания и использованием механизированных комплексов. Например, при добыче с применением узкозахватных угольных комбайнов образуется значительное количество мелких угольных частиц. Кроме этого, усложнение схем транспортирования в шахтах и на поверхности также вызывает увеличение количества угольной мелочи, выход которой составляет 70–80 % от всей массы добываемого угля [1]. Ресурсы сортового топлива можно увеличить на стадиях добычи угля. Это достигается внедрением угледобывающих механизмов, обеспечивающих повышенный выход крупных классов угля, например применение прогрессивных конструкций рабочих органов комбайнов, струговых установок, гидроотбойников, снижение ступенчатости и длины транспортных линий угля, изменение технологии складирования, погрузки и разгрузки угля и др. Однако эти мероприятия капиталоемкие, не имеют надежного технологического обеспечения и экономического обоснования.

Необходимо отдельно сказать об огромном количестве шламов, скопившихся за много лет работы шахт и обогатительных фабрик, которые практически нетронутыми находятся и по сегодняшний день, особенно высокозольные. В Кузбассе, например, сегодня в шламовых отстойниках практически не используются около 30 млн. т шламов, что

наносит серьезный экономический и экологический ущерб [1]. Поэтому проблема использования шламов ждет своего решения.

Каменноугольная мелочь дешевле сортового угля в 1,5–1,8 раза, однако, требуется разработка и внедрение эффективных способов получения из нее высококачественной продукции для бытового и промышленного потребления. Одним из таких способов является окускование каменноугольной мелочи.

1. НАЗНАЧЕНИЕ И СПОСОБЫ ОКУСКОВАНИЯ УГОЛЬНОЙ МЕЛОЧИ

Окускование – это превращение мелкозернистых полезных ископаемых в кусковой товарный продукт, имеющий определенную геометрическую форму, размеры и массу за счет механических и термических воздействий с применением специальных добавок или без них. Окускование каменноугольной мелочи – одно из перспективных производств, обеспечивающих высокий потенциал топливно-энергетического комплекса, металлургии черных и цветных металлов, утилизации шламов добычи и переработки угля и т.д. Окускованное топливо, в зависимости от назначения, должно удовлетворять следующим требованиям:

- быть экологически чистым при сгорании (отсутствие дыма, оксидов серы и других вредных выбросов);
- иметь высокую теплотворную способность;
- иметь агрегативную устойчивость при нагреве и горении;
- обладать «атмосфероустойчивостью» (не разрушаться от температурных воздействий и атмосферных осадков);
- обладать механической прочностью, выдерживая достаточно высокое сопротивление удару, и сохранять форму при транспортировке;
- содержать минимальное количество влаги, наличие которой требует дополнительного расхода тепла на испарение.

Производство окускованного твердого топлива позволяет:

- получить высокосортное и транспортабельное топливо улучшенного качества;
- сократить потери угля при хранении, перевозках и сжигании;
- предотвратить самовозгорание углей;
- привлечь для коксования дополнительные ресурсы неспекающихся марок углей.

В настоящее время существует несколько методов переработки угольной мелочи в твердый товарный продукт: получение гранул с помощью омасливания, брикетирование и пелетирование. В результате этих процессов получают конечные продукты гранулы, брикеты и пеллеты, соответственно (рис.1).



*Рис.1. Виды окускованной угольной мелочи:
1 – гранулы; 2 – брикеты; 3 – пеллеты.*

1.1. Брикетирование

История отечественного углебрикетного производства берет свое начало в середине XIX столетия. В 1870 году в Одессе была сооружена первая брикетная фабрика, выпускавшая антрацитовые брикеты для судов торгового флота. Впоследствии были введены в эксплуатацию каменноугольные и буроугольные брикетные фабрики и установки в системе топливной промышленности.

Существуют два основных способа брикетирования топливной мелочи: с добавкой связующих веществ обычно при давлениях прессования 15–25 МПа для каменных углей, и без связующих при повышенных давлениях (выше 75 МПа), для бурых углей [3].

1.2.1. Брикетирование со связующим

Достоинства процесса брикетирования со связующим:

- более высокая теплота сгорания;
- механически прочные брикеты при длительном хранении;
- нерассыпаются в топке до полного сгорания.

Недостатки:

- более сложная технология;
- необходимость добавления связующего.

Для брикетирования используют угли марок Д, Г, Т и А, а также марки, используемые для коксования, К, Ж, ОС, СС. По назначению брикеты бывают бытовыми и промышленными. Основными потребителями бытовых брикетов является население. Эти брикеты могут быть любой округлой формы массой 30–500 г. Бытовые брикеты могут быть расфасованы в мешки различной массы. Промышленные брикеты используют в топках для слоевого сжигания и в качестве сырья для коксования каменных углей, могут выполнять функцию теплоизоляционного материала, заменяя дефицитный графит, применяют в качестве основного материала для получения различных видов электродов. Форма промышленных брикетов округлая, кирпичеобразная, кубическая и др. Качество каменноугольных брикетов характеризуется следующими показателями: влажность 4–6 %, зольность 11–17 %, теплота сгорания 6400–6500 ккал/кг [1].

Брикетная фабрика – это механизированный промышленный комплекс со зданиями и сооружениями, насыщенными специальным оборудованием, позволяющим обеспечить подготовку, дозировку, смеше-

ние и прессование брикетируемых материалов; охлаждение, погрузку и складирование готовых брикетов.

Технология брикетирования каменноугольной мелочи и антрацита зависит от вида применяемой связующей добавки – каменноугольного пека (твердого связующего) или нефтебитума (жидкого связующего) и сводится к следующему [3]: исходный уголь (крупностью не более 6 мм) подсушивают, смешивают со связующим веществом в паровом смесителе (малаксере). Здесь за счет тепла, вводимого паром, связующее поддерживается в текучем состоянии, покрывает поверхности угольных частиц. На выходе из малаксера смесь имеет температуру порядка 95 °С. Для сокращения времени затвердевания связующего в брикете смесь частично охлаждают и направляют для прессования в вальцевый пресс.

После прессования брикеты охлаждают до 25–40 °С (зависит от расхода связующего) и подвергают грохочению для отсева неспрессованной мелочи и боя, последние возвращают в процесс брикетирования. Готовые брикеты отправляют на склад или отгружают потребителю. Технологическая схема брикетирования с нефтебитумом представлена на рис. 1.2 [4].

Брикетный вальцевый пресс, рис. 1.3. – машина для брикетирования каменноугольной мелочи. Вальцовый пресс состоит из станины, на которой смонтированы одна или две пары валцов, распределительной чаши и привода. На ободах валцов крепятся стальные бандажки с выфрезерованными на их поверхности в шахматном порядке ячейками в виде симметрических полуформ брикетов. Прессование шихты происходит в пространстве между вращающимися навстречу друг другу валцами (рис. 1.4 и 1.5). Смесь каменноугольной мелочи и связующего сверху в зазор между синхронно вращающимися навстречу друг другу валками. Загружаемый материал уплотняется в зазоре. Поверхность валков выполняется в виде лунок, таким образом, чтобы при формовании материала обеспечивалась яйцевидная или подушечная форма брикета.

Для повышения давления прессования, сокращения расхода связующих и улучшения физико-механических свойств брикетов над валцами устанавливают дозаторы-подпрессовщики (вертикальные шнеки-подпрессовщики), обеспечивающие предварительное уплотнение брикетной шихты и повышающие давление до 100 МПа. Производительность (по угольным брикетам) до 80 т/ч.

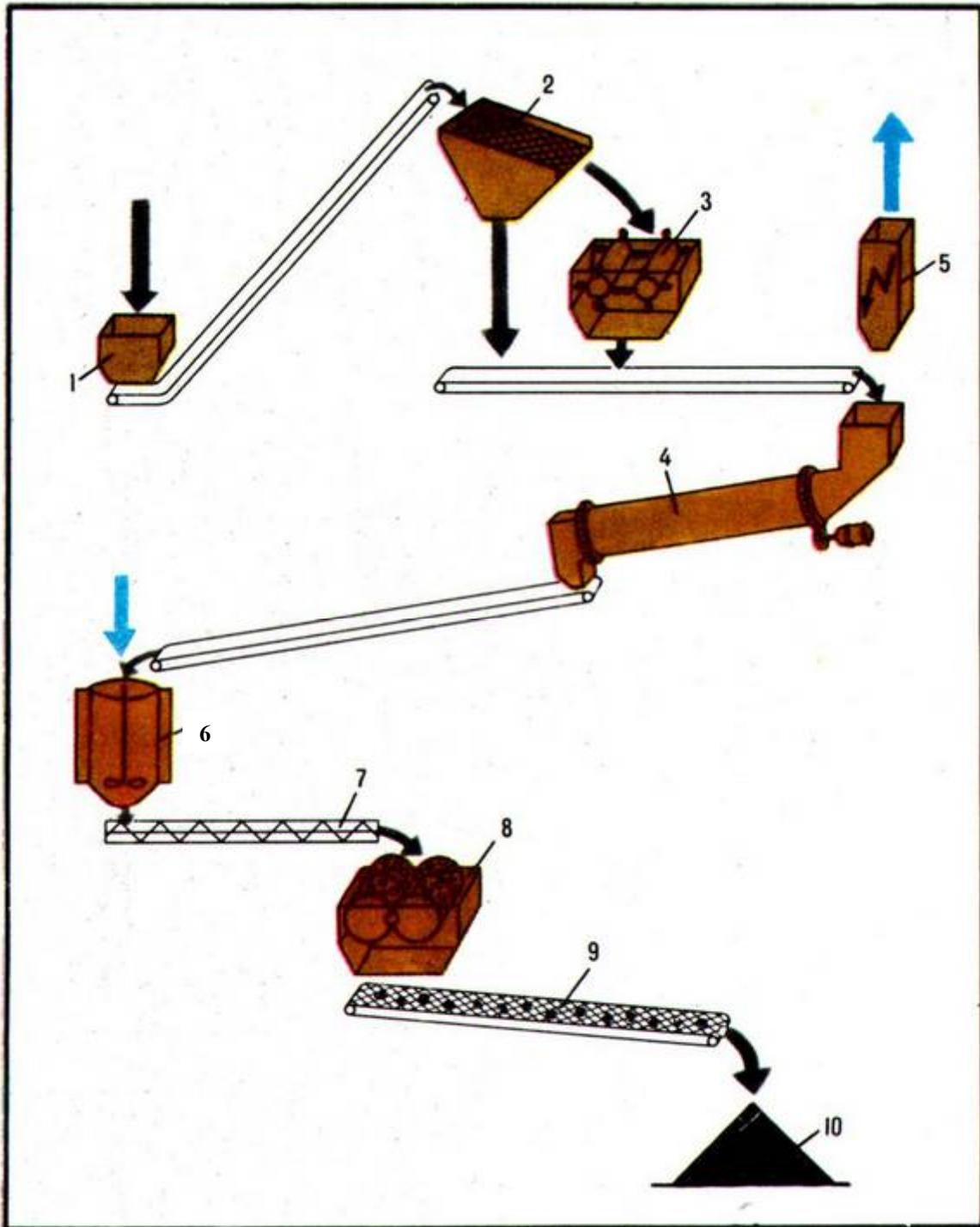
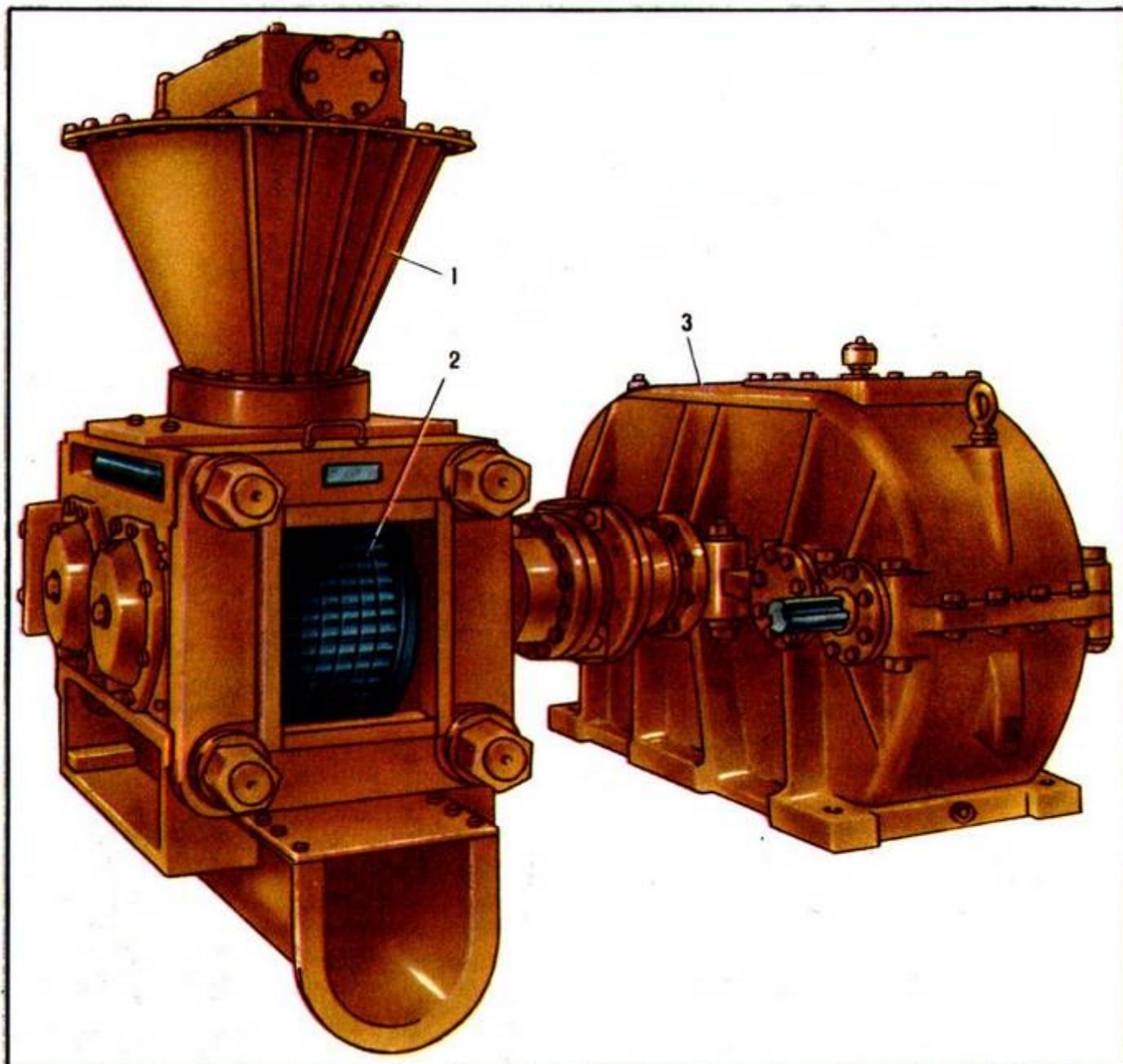


Рис. 1.2. Брикетирование каменного угля со связующим:

1 – приемный бункер исходного сырья; 2 – грохочение; 3 – дробление надрешетного продукта; 4 – сушка угольной мелочи в трубе-сушилке; 5 – очистка дымовых газов; 6 – дозировка и смешивание с разогретым жидким связующим в малаксере; 7 – транспортирующий шнековый смеситель; 8 – вальцевый пресс; 9 – отсев мелочи и охлаждение готовых брикетов; 10 – склад готовой продукции



*Рис. 1.3. Вальцевый брикетный пресс: 1 – вертикальный подпрессовщик;
2 – валки пресса; 3 – привод*

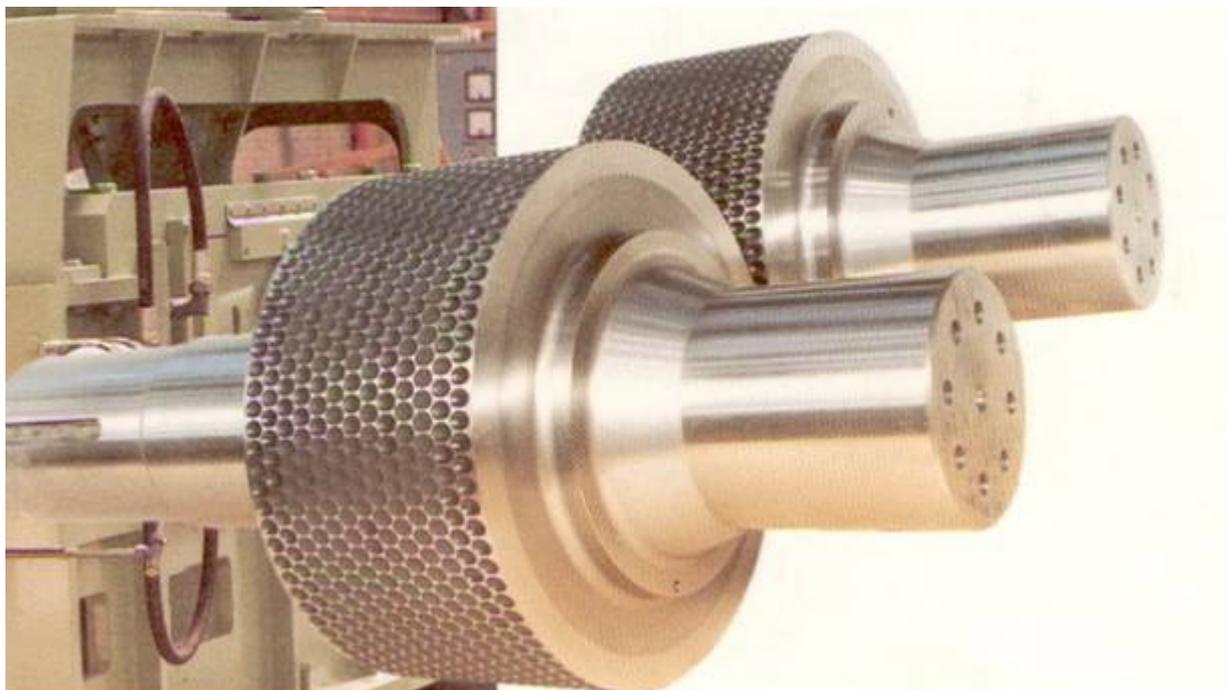
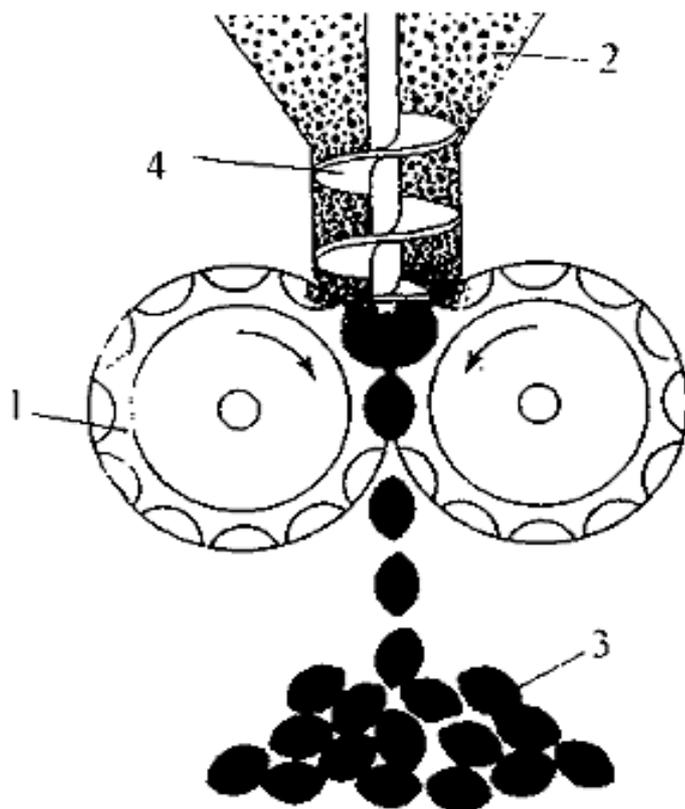


Рис.1.4. Внешний вид рабочих валков вальцевого прессы



*Рис. 1.5. Схема формирования брикетов на вальцевом прессе:
1 – валки; 2 - смесь каменноугольной мелочи и связующего;
3 – готовые брикеты; 4 – шнековый питатель (вертикальный шнек-подпрессовщик).*

Связующее в жидком виде имеет ряд преимуществ по сравнению с твердым. Оно легко диспергируется, образуя тонкослойное пленочное покрытие на поверхности угольных частиц. Наиболее эффективно процесс происходит при рабочей температуре 180–200 °С. При использовании каменноугольного пека необходимо перевести твердое связующее в вязкотекучее состояние. Рабочая температура подогрева достигает 220 °С.

Необходимо отметить, что нефтебитумы и каменноугольные пеки дефицитны и дороги, кроме того, нефтебитумы – это высокотоксичные вещества, а пеки - высококанцерогенные.

Таким образом, существующая технология брикетирования требует значительных капитальных затрат, имеет высокую энергоемкость, экологически опасна, а санитарно-гигиенические условия труда при ее применении далеки от предъявляемых требований. Вследствие этих причин, в России в настоящее время, к сожалению, по брикетированию каменных углей нет ни одной фабрики. Бурые угли брикетируются на единственной фабрике в Кумертау, окускование торфа снизилось по различным причинам.

В Китае применяется технология брикетирования шламов и мелкого каменного угля с помощью примешивания к брикетируемой массе глины в качестве связующего. Добавка глины в значительной степени повышает зольность, снижает тепловые свойства брикетов, увеличивает выход зольного остатка после сжигания, требует энергетических затрат при обжиге брикетов [1].

В Японии освоена технология брикетирования каменного угля совместно с опилками и дробленой корой хвойных пород деревьев. Из коры при нагревании выделяется смола, которая и является связующим веществом при прессовании брикетов. Эта технология требует предварительной сушки и измельчения угля, что достаточно энергоемко и экологически опасно. Механическая прочность получаемых брикетов весьма низкая, хотя давление прессования смеси составляет 30–40 МПа. Поэтому необходимы специальные условия упаковки, погрузки, транспортировки и разгрузки брикетов, что влияет на их стоимость [1].

Мировая практика использования углей показала, что весьма перспективным является производство бытовых угольных брикетов, зажигаемых от спички. При этом могут быть использованы как сортовые угли, так и угольный штыб, а также различные органические добавки к ним. Производство бездымных брикетов путем их термической обра-

ботки обеспечивает устойчивое горение брикетов без выделения дымовых газов, загрязняющих атмосферу. Оно эффективно сказывается на процессе плавки в литейном производстве. Этот метод позволяет использовать для основного процесса брикетирования каменноугольный пек.

Термическую обработку брикетов ведут с помощью твердого и газового теплоносителей. В результате воздействия на брикет высоко нагретых газов связующее и частично уголь окисляются. Окисление идет в газовом потоке, содержащем кислород. Процесс делится на три этапа: нагревание брикетов до 350–370 °С в течение 40 мин окисление их при этой температуре в течение 1–1,5 ч и охлаждение за 30–40 мин. Окисление сопровождается выделением тепла. Излишнее тепло отводится с газами за счет циркуляции и охлаждения водой. Эта операция также способствует образованию водяных паров, снижающих содержание кислорода в газах окисления и предотвращающих горение брикетов. Термическую обработку брикетов ведут в туннельных или кольцевых печах. Брикет продвигается в туннельной печи либо в вагонетках, либо на ребристой стальной ленте типа гусеничной цепи.

Если используется твердый теплоноситель, например песок, то технология получения бездымных брикетов осуществляется следующим образом. Песок, пройдя нагреватель, приобретает температуру 700 °С. Горячий песок совместно с брикетами в соотношении 4:1 подается в шахтную печь. Время пребывания брикетов в среде нагретого песка составляет 1–1,5 ч. После завершения термообработки вся песчано-брикетная масса с температурой 400–500 °С выгружается на колосниковый грохот. На нем песок отделяется от брикетов и пневмотранспортом направляется в циклоны, из которого песок вновь поступает в нагреватель. Дымовые газы, пройдя систему сухого и мокрого пылеулавливания, выбрасываются в атмосферу.

В результате термообработки брикеты имеют массу примерно на 20 % ниже, чем масса исходного сырья. Доля влаги в них не превышает 1 %, плотность составляет 1650–1700 кг/м³ при пористости 20–30 %. Теплотворная способность повышается до 35–36 кДж/кг [3].

В Великобритании наиболее широко используют бездымное топливо. Это объясняется использованием в основном печей с открытыми топками (каминами), для которых оптимальным топливом являются продукты переработки угля с высокой реакционной способностью, так как частые туманы способствуют насыщению воздуха копотью и дымо-

вым газом, которые выделяются при сжигании угля, не подвергавшегося термической обработке. Так, фирмой «Нэшнл коул» разработан и внедрен в промышленность процесс брикетирования каменного угля со связующим с последующим полукоксованием брикетов в наклонных камерных печах (процесс «фернасайт») [1]. Этот метод характеризуется значительными капитальными и энергетическими затратами при изготовлении брикетов, поэтому не находит широкого распространения.

Метод термоокислительной обработки брикетов заключается в том, что полученные брикеты из угольной мелочи, имеющей малый выход летучих веществ (антрацит, уголь марки Т, полукоксовая и коксовая мелочь) со связующим веществом, подвергают обработке горячими дымовыми газами, содержащими свободный углерод [1]. При термоокислительной обработке происходит полимеризация веществ, входящих в связующее, и образование твердого скелета, прочно связывающего частицы угля в брикете, который горит без копоти. При использовании в качестве сырья угольной мелочи с небольшим выходом летучих веществ образуется бездымное брикетное топливо. В зависимости от свойств применяемого связующего продолжительность выдержки брикетов в потоке дымовых газов, содержащих 8–10 % кислорода, составляет от 1 до 3 часов. С увеличением температуры газов, содержания кислорода и с изменением размеров брикетов время термоокислительной обработки изменяется. В зависимости от перерабатываемого вида топлива процесс осуществляют в одну-три ступени. При переработке углей с высоким выходом летучих веществ (длиннопламенные, газовые) – в три ступени. Топливо подвергают термической обработке (полукоксованию или коксованию), а полученный твердый остаток брикетируют с полукоксовой или коксовой смолой или со смесью смолы и нефтебитума. Полученные брикеты подвергают обработке дымовыми газами при температуре 250–350 °С в течение 1–2 ч в зависимости от свойств брикетируемого материала и размера брикетов.

При использовании углей с малым выходом летучих веществ, антрацита или тощих углей, прошедших карбонизацию в естественных условиях, процесс осуществляют в две стадии: брикетирование угольной мелочи с органическими связующими (асфальтенами, пеками и др.) и термическая обработка брикетов, которая происходит на высоких температурах. По этому методу во Франции разработан способ производства бездымного топлива. Сущность способа состоит в брикетировании антрацитового мелочи с каменноугольной смолой или пеком и

обработке брикетов массой 20–40 г в течение 2,5 ч на конвейере дымовыми газами при температуре 450–500 °С, где и происходит окислительный процесс (процесс «Инишар») [1].

В Бельгии разработан способ производства бездымного топлива, сущность которого заключается в термоокислительной обработке брикетов из антрацитовой мелочи с каменноугольной смолой или пеком в кипящем слое песка, где условия окисления лучше, если в качестве связующего применяется пек [1].

В Австралии производят брикеты из неспекающихся и слабоспекающихся марок углей с каменноугольным пеком. Брикеты подвергают окислительной закалке и обжигу до 1000 °С в шахтной печи полукоксования с продувкой газа [1].

Методы термоокислительной обработки брикетов со связующим дают возможность получить прочное термоустойчивое топливо. Но эти технологии требуют значительных капитальных затрат, имеют высокую энергоемкость, связующие вещества дефицитны, экологически опасны и поэтому не находят широкого распространения.

В работе [1] представлена технология и оборудование для производства бытовых топливных угольных брикетов, зажигаемых от спички. В состав брикетов, полученных на базе углей Печорского, Кузнецкого, Тувинского месторождений, помимо основного компонента - угля, входят связующие и окислитель в соответствующих пропорциях, для основного и зажигательного слоев брикета. В качестве связующего используются дешевые продукты, являющиеся отходами других отраслей промышленности. Причем тип связующего может быть экспериментально подобран с учетом возможностей региона, в котором предполагается организовать выпуск брикетов.

В качестве окислителя испытаны различные химические соединения, в том числе те, которые дают минимальное дымообразование, а в качестве связующего органические и неорганические вещества. Первые повышают калорийность брикетов, а вторые их прочность.

Рецептура брикетов определяется физико-механическими свойствами углей, связующего и окислителя. Предпочтительная масса одного брикета от 0,2 до 1 кг. Потребительские свойства брикетов зависят от марки, качества углей и состава связующего, свойств добавок, если они используются. Опытные партии брикетов, например, имеют следующие характеристики: относительная влажность – 1–3 %; время горения –

120–140 минут для брикетов массой 220 г; усилие разрушения (на раздавливание) брикетов 6–18 кН; температура горения – 500–570 °С.

Технология производства брикетов на основе использования связующего позволяет на порядок снизить давление прессования, которое принимается не более 8 МПа, что резко снижает энергопотребление в процессе прессования брикетов, пожароопасность в цехе, стоимость прессующего оборудования, существенно улучшает условия труда обслуживающего персонала и экологическую ситуацию в зоне производства.

В общем случае технология изготовления брикетов заключается: в последовательном удалении из угольной массы случайно попавших туда металлических предметов; измельчении угля; классификации измельченной массы (смешение ее с водой, связующим и окислителем, отдельно для основного и зажигательного слоев); прессовании сырого топливного элемента сразу в виде брикета или с последующей резкой сырого топливного элемента на брикеты заданного размера; сушке и складировании.

Самое высокопроизводительное прессовое оборудование позволяет получить с одного пресса в час не менее 6000 брикетов весом каждого 250–300 г.

По сравнению с рассмотренными выше аналогами новые разработки позволяют получать брикеты с более высокими потребительскими свойствами (брикеты зажигаются от спички) и при существенно низких энергозатратах за счет снижения (на порядок) рабочего давления прессования.

В мировой практике одним из основных направлений получения высококачественного окускованного топлива является производство термобрикетов, получаемых «горячим» прессованием, основанное на способности некоторых углей при определенных температурах размягчаться и переходить в пластическое состояние, при котором они могут брикетироваться. Термобрикеты получают за счет взаимодействия химических продуктов термической деструкции углей с высоким выходом летучих и поверхности нагретых угольных частиц при наложении механических усилий, сближающих эти частицы. Специальные связующие вещества в процессе не требуются, так как перед прессованием производится нагрев угольной массы, часть летучих веществ «отгоняется», а оставшиеся высокотемпературные продукты являются связующей основой термобрикетов. Выделившиеся химические продукты, как

правило, сжигаются, и получаемое тепло используется в процессе нагрева исходного угля.

По этому способу получают бездымное топливо румхит и хоумфайр в Великобритании. Процесс получения брикетов заключается в нагреве мелочи спекающихся или слабоспекающихся марок углей в кипящем слое до температуры 420–450 °С и в последующем брикетировании ее полупластического состояния на валковом или штемпельном прессах [1].

В целях решения задачи создания технологии экологически чистого окускованного топлива для коммунальных нужд, особенно для малых городов и населенных пунктов, институтом горючих ископаемых (ИГИ), с учетом опыта Германии и Великобритании, освоивших промышленное производство такого топлива, была разработана технология получения подобного топлива [1] из каменных углей Кузнецкого бассейна (процесс типа «Анцит», рис. 1.6).

Процесс «Анцит» заключается в раздельном нагреве указанных компонентов топочными газами: инертный компонент нагревается до 600 °С, спекающийся уголь – до 300 °С. При смешении спекающийся уголь размягчается. Образующаяся пластическая смесь прессуется в вальцевых прессах при температуре 500 °С. Получаемые термобрикеты имеют высокую прочность, влагоустойчивость, теплоту сгорания и оптимальную реакционную способность, позволяющую легко разжигаться и медленно гореть, обеспечивая при сжигании КПД энергетических установок не менее 75 %. Топливо может быть успешно использовано для получения литейного чугуна в доменных печах.

Производство бытового топлива по технологии «Анцит» освоено в Германии и Великобритании (Южный Уэльс).

В Польше (Институт химической технологии угля, г. Забрже) разработан метод получения бездымного топлива брикетированием в вальцевом прессе смеси горючего мелкозернистого полукокса со спекающимся углем в качестве связующего при температуре 400–450 °С (процесс типа «Анцит»). Получаемые термобрикеты, сжигаемые в различных печах, обеспечивают стабильный режим горения с постоянным тепловыделением, что позволяет экономить до 40 % топлива при отоплении.

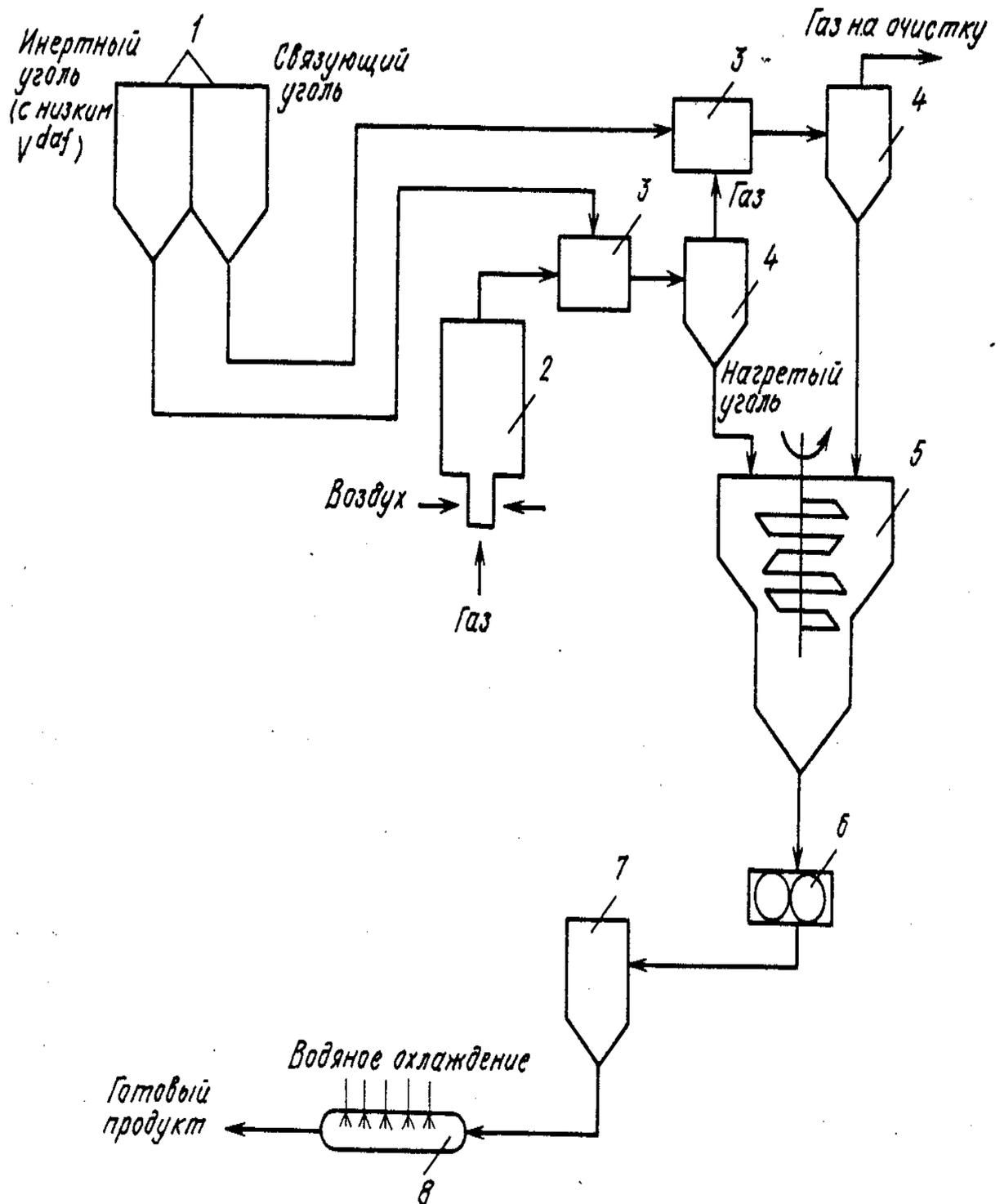


Рис. 1.6. Технологическая схема процесса «Анцит»:
 1 – бункер; 2 – топка; 3 – скоростной нагреватель; 4 – циклон;
 5 – смеситель; 6 – вальцевый пресс; 7 – бункер
 упрочнения брикетов; 8 – охлаждающий конвейер.

Преимущество термобрикетирования заключается в том, что пропадает необходимость в связующем веществе. Но осуществление этого способа связано с технологическими трудностями, т. к. большинство углей имеет узкий температурный интервал пластического состояния, и поддерживать это состояние в непрерывном потоке горячей массы сложно. И поэтому способ термического брикетирования не находит широкого распространения.

Способ холодного брикетирования, разработанный в Великобритании, основан на следующих процессах: сушка угля, классификация и дробление, дозирование и смешивание угольной мелочи со связующим и отвердителем, прессование брикетов. Отверждение полученных брикетов происходит через короткое время. Недостаток этого способа – большой расход связующих веществ, которые при сжигании выделяют значительное количество дыма. Брикеты имеют большую себестоимость и, следовательно, высокую цену, что обуславливает низкий спрос на готовую продукцию [1].

Новосибирским предприятием разработана технология изготовления топливных брикетов на основе торфа в смеси с антрацитовыми отсевами, каменноугольной пылью, отходами деревообрабатывающего и сельскохозяйственного производства, а также твердыми бытовыми отходами [1]. В отличие от применяемых на брикетных предприятиях России технологий, данный метод позволяет вести прессование в широком спектре используемых исходных материалов влажностных режимов. Первая опытно-промышленная линия по выпуску торфоугольных брикетов мощностью 10 тыс. т/год запущена на Толмачевском торфопредприятии и ориентирована на местные сырьевые ресурсы. Производственные испытания показали, что потребительские свойства брикетов, а именно калорийность, зольность, количество вредных выбросов и др., меняются в зависимости от соотношения торфа, угольной мелочи и торфяного геля. При этом массовая доля угля в получаемых брикетах не должна превышать 60–70 %, содержание торфа в количестве не менее 10–15 % обеспечивает формовочную прочность, а торфяного геля как воздушно твердеющего связующего в количестве не менее 20–25 % обеспечивает прочность и влагостойкость брикетов после их сушки. Полученные результаты позволили рекомендовать разработанную технологию брикетирования угольных отходов и комплект оборудования к широкому применению для организации местных произ-

водств топлива с использованием имеющейся сырьевой базы – месторождения торфа и отходов антрацита.

1.1.1. Связующие вещества для брикетирования

Вещества, способные соединять разобщенные твердые тела и сохранять их прочный контакт в условиях значительных внешних воздействий, называются связующими.

Связующие могут быть органического и неорганического происхождения и комбинированные, рис. 1.7.

Связующие вещества должны удовлетворять следующим требованиям:

- иметь высокую поверхностную активность, максимально смачивать твердую поверхность материала, обеспечивая прочную связь;
- быть устойчивыми к атмосферным осадкам, температуре, действию солнечных лучей, окислению и т. п.;
- не разрушать структуру субстрата в готовом брикете; иметь эластичные и пластические свойства;
- обладать высокой прочностью, но не быть жестче склеиваемого материала. В противном случае внешняя нагрузка может привести к разрушению соединения из-за неравномерной концентрации напряжений;
- не допускать возникновения в отвердевшем связующем высоких внутренних напряжений, способных к разрушению клеевого соединения;
- иметь высокую скорость отверждения;
- не содержать летучих соединений, с токсическим действием на организм человека;
- содержать достаточную долю спекающихся компонентов, обеспечивающих термическую стойкость брикетов при горении;
- обеспечивать полную теплоустойчивость брикетов при повышенных летних и низких зимних температурах;
- иметь высокую теплоту сгорания и малый выход летучих веществ;
- обладать низкой температурой воспламенения;
- быть недефицитными и дешевыми;
- отличаться стойкостью при хранении, удобное транспортирование.



Рис. 1.7. Виды связующего для брикетирования углей

Связующие органического происхождения. Наиболее распространенными связующими органического происхождения являются соединения, полученные при химической переработки нефти, угля, сланцев и других природных полимеров с молекулярной массой тысяча и более. Наибольшее распространение нашли масла, смолы, асфальтены, крекинг-остатки, каменноугольный пек, которые чаще всего высокотоксичные и оказывают негативное влияние на окружающую среду (т. к. предполагают нагревание, чтобы перевести их в вязко-текучее состояние). В зависимости от температурных и механических воздействий они могут находиться в трех агрегатных состояниях: стеклообразном, высокоэластичном и текучем.

Нефтесвязующие – представляют собой тяжелый остаток от переработки смолистых нефтей, обладающий характерными свойствами высокомолекулярных соединений. Нефтесвязующие при температуре окружающего воздуха находятся в твердом состоянии. Имеют цвет от черного до темно-бурого.

Каменноугольный пек (КУП). Это твердый, хрупкий продукт черного цвета с раковистым изломом. Он относится к тяжелым остаткам перегонки каменноугольной смолы коксования, полученным при температуре 360–380 °С. В химическом отношении это сложная структурированная гетерогенная система. Наиболее важные для технологии брикетирования являются такие свойства КУП, как плотность, вязкость, поверхностное натяжение, смачиваемость, спекаемость, термостабильность, способность образовывать коксовый остаток. Эти свойства у КУП с различной температурой размягчения (60–300 °С) не одинаковы и зависят от качества сырья и условий получения КУП. Наибольшее применение для окускования угольной мелочи находят КУП с температурой размягчения 70–90 °С. Токсичность каменноугольного пека ограничивает его область применения при брикетировании. Снижение вредного действия пека достигается термической обработкой брикетов.

Сульфит-спиртовая барда (ССБ). Это побочный продукт (отход) при переработке измельченной древесины на целлюлозу, содержащий не более 20–30 % воды. В химическом отношении высокая вяжущая способность ССБ обусловлена наличием кальциевых, натриевых и аммониевых солей лигносульфоновых кислот – активных ПАВ.

Для ВМС связующих характерно резкое снижение вязкости при механическом и тепловом воздействиях с последующим ее возрастанием при наступлении покоя.

Спекающие свойства связующих характеризуют их термическую устойчивость в период воздействия высоких температур. Спекаемость – особенность связующих, проявляющаяся в их способности образовывать коксовую сетку, не допускающую распад брикетов.

Неорганические связующие. Связующие неорганического (минерального) происхождения, как правило, вступают с брикетируемым полезным ископаемым в химическую реакцию. Интенсивность структурообразования зависит от скорости и полноты химических реакций, а также давления прессования. В качестве минеральных связующих наибольшее распространение нашли известь, растворимое (жидкое) стекло, цементы, каустический магнезит и доломит, глины, гипс и др.

Комбинированные связующие. Комбинированные связующие – это соединения, свойства которых направлены изменены. Комбинированные связующие позволяют использовать материалы, обладающие ограниченными клеящими возможностями. Объединение таких веществ в определенных пропорциях позволяет получить связующие со строго заданными свойствами.

Отдельные компоненты комбинированных связующих должны иметь несовпадающие температурные интервалы размягчения; легко смешиваться друг с другом; обладать хорошей сыпучестью или текучестью для обеспечения точного дозирования; соответствовать оптимальным значениям специфического свойства, недостающего остальным компонентам; обеспечивать в совокупности высокие механические, термические и физико-химические свойства брикетов; не вносить вредных примесей в состав брикетной шихты.

Комбинированные связующие на основе неорганических веществ применяют для брикетирования руд черных и цветных металлов. Для брикетирования угля используют комбинированные связующие на основе органических соединений, а также с добавками цементирующих неорганических связующих.

При смешении каменноугольного пека или нефтяного битума с сульфит-спиртовой бардой или сульфитным щелоком в соотношении (1–2):(5–6) получают качественные угольные и рудные брикеты [3]. Эти органические связующие можно смешивать с кальцинированной содой, каустическим магнезитом, растворимым стеклом, мергелем и другими добавками.

Среди ряда связующих, применяемых в практике углебрикетного производства, битумные связующие являются наиболее эффективными

по технологическим и экономическим параметрам, обеспечивающие высокую прочность и калорийность угольных брикетов.

В тоже время последние обладают существенным недостатком, связанным с их низкой термической прочностью.

Что касается других направлений получения экологически чистого твердого топлива, то их развитие сдерживается необходимостью применения при брикетировании значительного количества (до 10 % и выше) связующих веществ, промышленные ресурсы которых определяются в основном продуктами нефтяного происхождения, дефицит которых возрастает.

1.1.2. Новые технологии брикетирования угольной мелочи

Предприятие ООО «Консит-А» предложило использовать для решения указанной проблемы органобентонит – универсальный структурообразователь масляных органических сред, выпуск которого оно освоило в промышленных масштабах [5].

Органобентонит (органоглина) является универсальной высокоэффективной реологической добавкой и представляет собой продукт взаимодействия высококачественных бентонитовых глин с четвертичными аммониевыми солями. Придавая тиксотропную структуру любому маслу, органобентонит одновременно повышает термостойкость и термостабильность различных потребительских систем замешанных на соответствующих маслах и их седиментационную устойчивость. Органобентонит резко повышает долговечность этих систем.

Проведен комплекс исследований, позволивший определить влияние органобентонита, введённого в состав связующего, на механическую прочность брикетов, их термостойкость и теплоустойчивость. В результате было установлено следующее [5].

1. Повышается качество угольного топлива в виде брикетов:

- термостойкость брикетов при сжигании повышается на 20 %;
- теплоустойчивость брикетов в условиях их нагрева и выдержки при температуре 60 °С – на 16–17 %, а при температуре 50 °С – на 36 и 55 % при содержании органобентонита в связующем 1 % и 2 % от его массы, соответственно;
- происходит упрочнение структуры брикетов (механической прочности) на 18–20 %;

– повышается сопротивление раздавливающим нагрузкам (сохраняется целостность брикетов при перевозке на ж/д транспорте и при хранении в штабелях).

2. Не требуются дополнительные энергетические затраты на температурную подготовку связующего и шихты.

3. Использование органобентонита в составе связующего полностью вписывается в существующую технологию брикетирования угля: не усложняется весь цикл технологических операций по подготовке и прессованию шихты, а также по температуре и времени структурообразования брикетов.

4. Не ухудшается водостойкость брикетов.

5. Показано, что предельно допустимое содержание органобентонита в нефтебитумном связующем не должно превышать 2 % масс, что вполне приемлемо как с технологических, так и экономических соображений.

Оригинальное решение по брикетированию угля на мобильной брикетной установке без использования связующих предлагает фирма «ЮНИТЕК» [6]. Такая технология брикетирования является НОУ-ХАУ фирмы «ЮНИТЕК» и заключается в создании особых условий для использования органических свойств компонентов уже входящих в состав угля, за счёт шнекового нагнетания и термодинамического контроля для улучшения механических свойств брикетов, а так же использования особой конструкции некоторых механических узлов оборудования.

Сначала при небольшом давлении происходит внешнее уплотнение материала за счёт убирания пустот между частицами.

Затем уплотняются и деформируются сами частицы. Между ними возникает молекулярное сцепление. Высокое давление в конце прессования приводит к переходу упругих деформаций частиц в пластические, вследствие чего структура упрочняется и сохраняется заданная форма. Выделившиеся при этом фенолы и смолы при участии воды полимеризуются на поверхности частиц. Нагревание материала до строго определённой температуры непосредственно при прессовании улучшает процесс. Весь этот процесс контролируется микропроцессором. При остывании и после просушки брикеты окончательно закрепляются.

В результате, снижаются затраты на производство, и при горении таких брикетов отсутствуют посторонние запахи, упрощается растопка.

Наибольшая температура брикета достигается в геометрическом центре брикета – возникает особое практически бездымное горение с раскаленным шаром внутри.

Технология стала возможной с применением микроэлектронного управления процессом брикетирования по специальной программе таким образом, что брикетирование каждого брикета завершается только в том случае, когда брикет приобретет требуемое качество. Время формирования одного брикета колеблется в небольших пределах и постороннему наблюдателю происходящие процессы не видны.

Толчком для создания мини-завода явилось несовершенство существующих установок по брикетированию угля. Опыт эксплуатации промышленных прототипов показал, что в некоторых узлах оборудования угольная фракция самоуплотнялась, – образовывались твёрдые пробки. Анализ процесса спонтанного образования этих пробок привёл к идее управления таким процессом применительно непосредственно к брикетированию угля. Итогом практической реализации явилось создание серийного образца мини-завода, изготавливающего угольные брикеты без добавления связующего, в котором главная роль отведена использованию электроники для управления и формирования особых условий при создании брикетов улучшенного качества. Использование такой технологии изменило и механику, обеспечивающую технологический процесс традиционного брикетирования.

В результате разработчики получили высокотехнологичное, более экономичное, мобильное оборудование, на порядок компактнее и лишённое всех недостатков своих предшественников. К тому же из технологического процесса исключилось добавление связующих компонентов в угольную смесь.

Ниже приведена сравнительная характеристика прототипа обычного завода по брикетированию угля и нового мини-завода, рис 1. 7.

Для производства брикетов на новых установках подходят угли всех марок, с любыми характеристиками и любой стадии метаморфизма, а также шламы углеобогащения. Брикеты цилиндрической формы, диаметром от 40 до 80 мм и высотой от 20 мм до 100 мм. Размер оговаривается заранее перед заказом оборудования. Возможно изменение пресс-формы для изготовления брикетов других форм.

Брикеты поставляют в полиэтиленовой упаковке до 10 кг, в мешках полипропиленового плетения по 40 кг.

Характеристики прототипа	Характеристики мини-завода
	
Габариты, м:	Габариты, см:
высота – 10	высота – 90
рабочая площадка – 30×30	длина – 100
	ширина – 50
Вес – не определяли	Вес 200 кг
Производственное здание:	
1 этаж – силовая	
2-й этаж – пульт управления	
Производительность – 10 т/сут при работе в 3 смены;	Производительность – до 8 т/сут при работе в 3 смены
Количество рабочих – 6 человек в смену	Количество рабочих – 3 человека в смену
Размеры брикета, мм: 50×80×30	Размеры брикета, мм: диаметр 70, высота 20–80
Мобильность – нет	Мобильность – да
Напряжение питания 380/220 В	Напряжение питания 380/220 В
Потребляемая мощность – 100 кВт/час	Потребляемая мощность – 5 кВт/час

Рис. 1.7. Сравнительная характеристика прототипа (обычного завода по брикетированию угля) и нового образца – мини-завода

1.2. Получение топливных гранул

Одним из перспективных методов окускования каменноугольной мелочи и шламов является гранулирование методом окатывания. Гранулирование определяется как агломерационный процесс, где тонкие частицы материала образуются в гранулы в присутствии влаги или с помощью омасливания.

Гранулирование методом окатывания состоит в предварительном образовании агломератов из равномерно смоченных частиц или в насаивании сухих частиц на смоченные ядра – центры гранулообразования. Этот процесс обусловлен действием капиллярно-адсорбционных сил сцепления между частицами и последующим уплотнением структуры, за счет сил взаимодействия между частицами в плотном динамическом слое, например в грануляторе барабанного типа.

Процесс гранулирования методом окатывания состоит из четырех стадий [7]:

- смешение исходной угольной мелочи с частицами ретур и связующим;
- образование гранул из мелких частиц и дробление комков;
- окатывание и уплотнение гранул в результате их перемещения по поверхности аппарата;
- упрочнение связей в результате перехода жидкой фазы в твердую, т. е. стабилизация структуры гранулы.

На всех стадиях происходит изменение распределения частиц по размерам, т. е. идет процесс гранулообразования, интенсивность которого зависит от технологии, аппаратного оформления процесса гранулирования и свойств угля.

Стадии смешения и образования гранул. В качестве связующего применяют различные жидкости, способствующие сцеплению частиц. Чаще всего – это дешевые доступные вещества, используемые в технологии получения данного продукта (вода, раствор продукта, плав одного из компонентов и т. п.). Иногда используют смолы, бентонит, глину, гипс и другие инертные связующие или вещества, способствующие затвердеванию (кристаллизации, полимеризации и т. п.). Для гранулирования каменноугольной мелочи в качестве связующего применяют нефтепродукты, расход которых весьма значителен, но при этом получают топливные гранулы с низкой зольностью: полярные связующие селективно адсорбируются на угольных частицах.

Порошок, подаваемый на гранулирование, как правило, имеет однородный гранулометрический состав. Крупные частицы поступают с ретуром, отсеянным от продукта, прошедшего обкатку и сушку. Имея разную структуру, частицы ретура и мелочи по-разному смачиваются связующим. В общем случае скорость капиллярного всасывания определяется свойствами жидкости (вязкостью, плотностью, поверхностным натяжением) и материала (радиусом капилляров, природой вещества, состоянием его поверхности). Процесс образования зародыша и формирования гранулы при подаче в гранулятор жидкости можно представить следующим образом. Капля воды, попавшая в слой материала, под воздействием капиллярных сил сразу же начинает распространяться во все стороны, заполняя поры между отдельными частицами. Предельный размер образующихся комочков прямо пропорционален величине капли и обратно пропорционален пористости слоя материала. Вода перестает распространяться в сыпучем материале, как только комочек достигнет максимальной капиллярной влагоемкости. Это время измеряется несколькими секундами. Для увлажнения частиц ретура требуется значительно больше времени.

Изменение характера влагопоглощения с течением времени объясняется, по-видимому, тем, что вначале влага поглощается поверхностным слоем гранул под воздействием капиллярных сил. По мере насыщения этого слоя влага продвигается внутрь гранулы, где имеются не только открытые, но и закрытые поры, заполненные воздухом. Дальнейшее поглощение влаги резко замедляется и лимитируется растворением воздуха в жидкой фазе. Чем выше влагосодержание мелочи, тем быстрее насыщается поверхностный слой гранул и тем быстрее наступает переход от одного характера: влагопоглощения к другому. При увлажнении одновременно происходит и уплотнение мелочи под действием капиллярных сил. Чем мельче частицы и больше поверхностное натяжение жидкости, тем плотнее агломерат. Образовавшийся агломерат далее уплотняется при окатывании.

Стадия окатывания. Уплотнение частиц методом окатывания достигается, в основном, при ударе о неподвижный слой материала или о стенку гранулятора. В этот момент большая часть кинетической энергии, которую приобрел комок при скатывании вниз, расходуется на перемещение зерен и уплотнение гранулы.

Комочки в результате многократных ссыпаний и ударов уплотняются, отдельные частички, перемещаясь, укладываются более плотно.

При этом избыточная влага выдавливается на поверхность комочка, в результате чего становится возможным дальнейшее присоединение к такому комку сухих частичек. По мере приближения частичек друг к другу толщина пленок связанной воды становится все меньше, прочность сцепления увеличивается. Сближение частичек вследствие уменьшения толщины адсорбированных пленок возможно только в том случае, когда избыток воды поглощается, например, в результате присоединения новых частичек к поверхности или поступления влаги во внутрь гранулы. При работе гранулятора внутри комка создается определенная минимальная толщина водных пленок, соответствующая величине динамических нагрузок. Как только эта толщина достигается, дальнейшее выделение воды на поверхность комка прекращается, гранула перестает расти, ее прочность становится максимальной для данного режима. Присутствие в шихте сухих плотных частиц ретурра приводит к тому, что влага не только выдавливается на поверхность, но и всасывается во внутрь. При одинаковых интенсивностях этих процессов гранулы не растут, а при преобладании всасывания над другими процессами может происходить измельчение гранул, поскольку ослабляются связи между частицами. Для дальнейшего увеличения размера гранул накатыванием следует вводить извне на их поверхность дополнительное количество жидкости. При значительном содержании ретурра в шихте и одноразовом увлажнении на его поверхности создается временный избыток жидкой фазы, в результате чего происходит рост гранул, хотя данного количества жидкости явно недостаточно для устойчивого ведения процесса гранулирования. В дальнейшем частицы ретурра продолжают поглощать жидкость; по истечении определенного времени на поверхности частиц ретурра жидкости уже не хватает, и агломераты разрушаются. Одноразовое введение требуемого количества жидкости приводит к чрезмерному увеличению влажности шихты и образованию крупных агломератов. Следовательно, для получения гранул требуемого размера шихту надо увлажнять постепенно с учетом кинетики влагопоглощения. Как правило, время насыщения гранул влагой значительно превышает время, необходимое для окатывания гранул при выбранных динамических нагрузках. Для поддержания на поверхности гранул оптимальной влажности следует увлажнять шихту весь период окатывания.

Стадия стабилизации структуры гранул. Связи между частицами, уплотненными и процессе окатывания, в значительной мере обу-

словлены силами поверхностного натяжения жидкости. Эти связи обеспечивают достаточную пластичность материалу и позволяют в широких пределах изменять форму гранулы без ее разрушения. Для получения готового продукта необходимо упрочнить связи, придав большую жесткость полученной структуре, что достигается удалением жидкой фазы или переводом ее в твердую фазу. Одним из наиболее распространенных способов упрочнения гранул является сушка. При удалении влаги из растворимых в ней материалов одновременно происходит и кристаллизации твердой фазы.

Для гранулирования используют барабанные и тарельчатые грануляторы [7, 8].

Барабанный гранулятор (рис. 1.8) представляет собой цилиндр, наклоненный под углом $1-3^\circ$ к горизонту для облегчения перемещения материала в сторону выгрузки. На корпусе барабана закреплены бандаж и венцовая шестерня, через которую передается крутящий момент от электродвигателя. С торцов барабан снабжен загрузочной и разгрузочной камерами, герметизирующими рабочий объем гранулятора. Через загрузочную течку вводится исходная шихта или сухая угольная мелочь. В последнем случае для подачи связующего в головной части барабана над слоем материала установлены распределители жидкости. Как правило, одновременно с исходным сырьем подается ретур (готовые мелкие гранулы) в количестве 20–25 % от готовой продукции, который служит центрами гранулообразования.

К распределителям жидкости предъявляют следующие требования: простота конструкции, равномерность распределения, возможность регулирования дисперсности распыла, возможность очистки во время эксплуатации.

Частота вращения барабана – от 5 до 30 об/мин. Для увеличения высоты подъема материала и предотвращения образования комков, а, следовательно, интенсификации процесса окатывания применяют насадки, которые устанавливают на некоторой части или на всем пути движения материала в барабане. Насадки представляют собой неподвижные или вращающиеся лопасти.

В промышленности широко применяют распределитель типа «пила» (рис. 1.9), представляющий собой трубу с зубчатым желобом. Желоб снабжают крышкой, предотвращающей попадание в него материала. Недостатком таких распределителей является необходимость строго

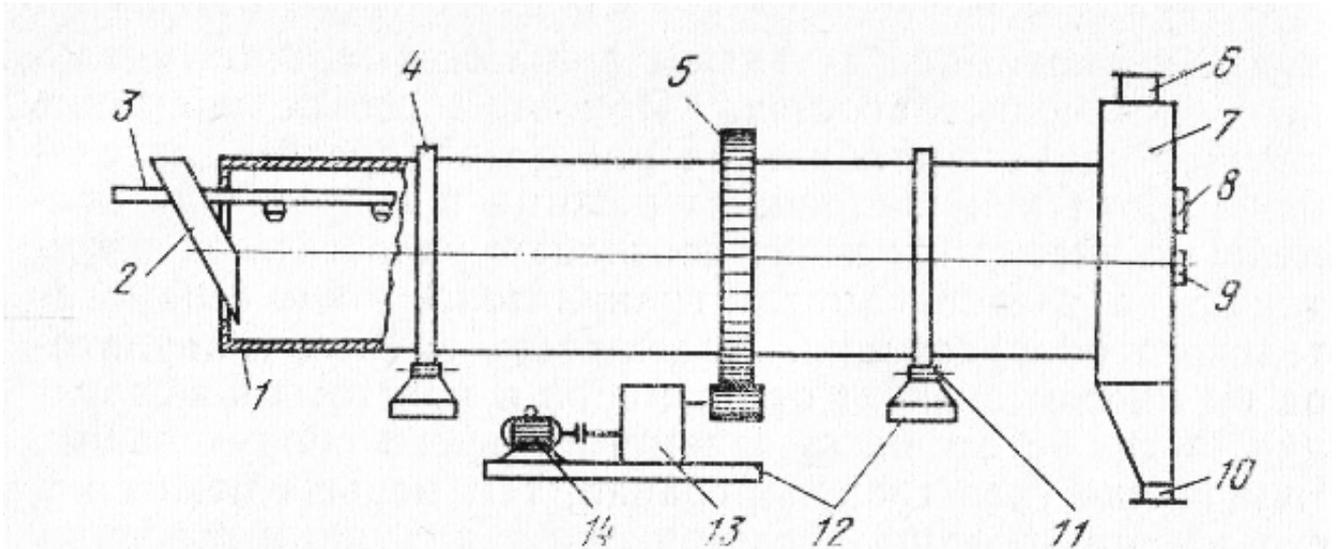


Рис. 1.8. Барабанный гранулятор:

1 – барабан; 2- течка для загрузки угольной мелочи; 3 – распределитель связующего; 4- бандаж; 5 – венцовая шестерня; 6 – патрубок для отсоса паров; 7 – камера выгрузки; 8 – окно для подсветки; 9 – смотровое окно; 10 – патрубок для выгрузки гранул; 11 - опорный ролик; 12 – бетонное основание; 13 – редуктор; 14 – электродвигатель.

горизонтальной их установки и невозможность регулирования размера капель.

Для диспергирования жидкости применяют пневматические форсунки внутреннего и внешнего смещения, работу которых регулируют изменением давления распыливающего агента. Это давление, однако, ограничено, так как происходит размывание слоя материала струей. Поскольку для гранулирования окатыванием не требуется особенно тонкого и однородного распыливания жидкости, часто используют механические форсунки, которые располагают обычно со стороны загрузки.

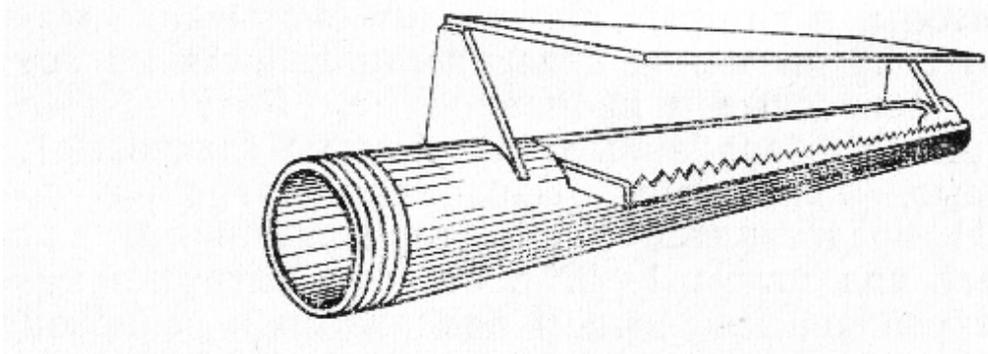


Рис. 1.9. Распределитель жидкого связующего типа «пила»

Барабанные грануляторы характеризуются высокой производительностью (30–70 т/ч), простотой конструкции, надежностью в работе, относительно небольшими удельными энергозатратами. Одновременно им присущи недостатки: высокая полидисперсность гранулята, невозможность управления процессом гранулообразования. Барабанные грануляторы не обеспечивают визуальный контроль производства. В этих аппаратах иногда происходит нарушение процесса гранулообразования с образованием очень крупных гранул.

Тарельчатые, или дисковые, грануляторы (рис. 1.10) – это вращающаяся тарель с бортами, расположенными перпендикулярно к днищу, установленная под углом 40–60° к горизонту. Дну тарели придают эллиптическую форму для увеличения траектории гранулы, что интенсифицирует процесс. К тарели подводится форсунка, через которую поступает связующее, но может происходить и сухое окатывание,

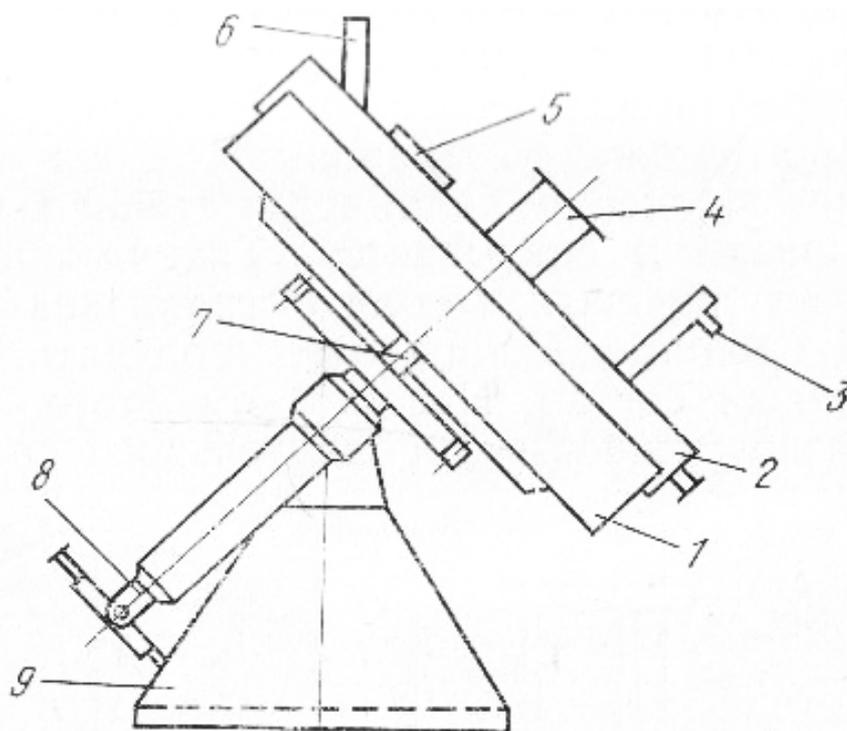


Рис. 1.10. Тарельчатый гранулятор:

- 1 – вращающаяся тарелка; 2 – герметизирующий кожух;
 3 – форсунка для подачи связующего; 4 – патрубок для отсоса паров;
 5 – смотровое окно; 6 - патрубок для подачи угольной мелочи; 7 - вал;
 8 – механизм для изменения угла наклона тарелки; 9 – станина.*

которое часто сопровождается пылением. В последнем случае целесообразно подавать либо полидисперсный исходный материал, либо вводить ретур. Поэтому в большинстве случаев окатывание осуществляется по схеме влажного гранулирования, со связующим. Окатывание материала происходит на днище тарели. Вследствие силы трения комки поднимаются на некоторую высоту и затем скатываются вниз, образуя гранулы-окатыши. Конечная крупность гранул – 10–16 мм.

По форме днища тарельчатые грануляторы делятся на плоские, конические, сферические, эллиптические. Применение неплоских днищ позволяет избежать мертвого пространства в месте стыка с бортом и увеличить путь окатывания, т. е. производительность аппарата. Максимальная эффективность работы тарельчатого гранулятора достигается при определенной высоте слоя, поэтому, оставляя этот показатель неизменным, стремятся увеличить площадь окатывания. Связующее подается в центральную часть тарелки. Место ввода сухих и жидких компонентов определяется требованиями к гранулометрическому составу продукта. Для получения крупных комков орошение ведут в верхней части поднимающегося слоя, а материал для гранулирования загружают в нижнюю часть тарелки. Для получения более мелких гранул поднимают место ввода угольной мелочи и опускают место ввода жидкости, причем поток жидкости делят на две части. Большую часть дают в слой для образования зародышей, а меньшую на участок пересыпания крупных комков, способствуя накатке гранул.

Тарельчатые грануляторы уступают барабанным в производительности, однако обладают многочисленными преимуществами, позволяющими им во многих случаях заменить барабаны. Тарельчатые грануляторы позволяют получить монодисперсный гранулят; относительно легко регулировать ход процесса гранулирования изменением числа оборотов тарели и угла наклона ее оси. Кроме того, тарельчатые грануляторы более экономичны, компактны и требуют меньших капитальных вложений.

К преимуществам гранулирования на тарелях относятся также возможность быстрого определения в лабораторных условиях способности материалов к гранулированию, широкий диапазон свойств исходных продуктов, возможность проведения процесса по сухой и мокрой схемам. Но они имеют узкие пределы рабочих режимов вследствие высокой чувствительности аппарата к содержанию жидкости (связующего) в материале.

В настоящее время появляется много работ по поиску новых и более дешевых связующих, например, в сведениях, представленных автором [1], показана возможность гранулирования мелких классов каменных и бурых углей с применением в качестве связующего лигносульфонатов (отходов целлюлозобумажной промышленности). Технологическая схема предусматривает подсушку мелкого угля до воздушно-сухого состояния, гранулирования подсушенного угля с водным раствором сульфитно-дрожжевой барды. Схемой предусматривается покрытие гранул водомазутной эмульсией для предотвращения их самовозгорания, что повышает стоимость готовых гранул.

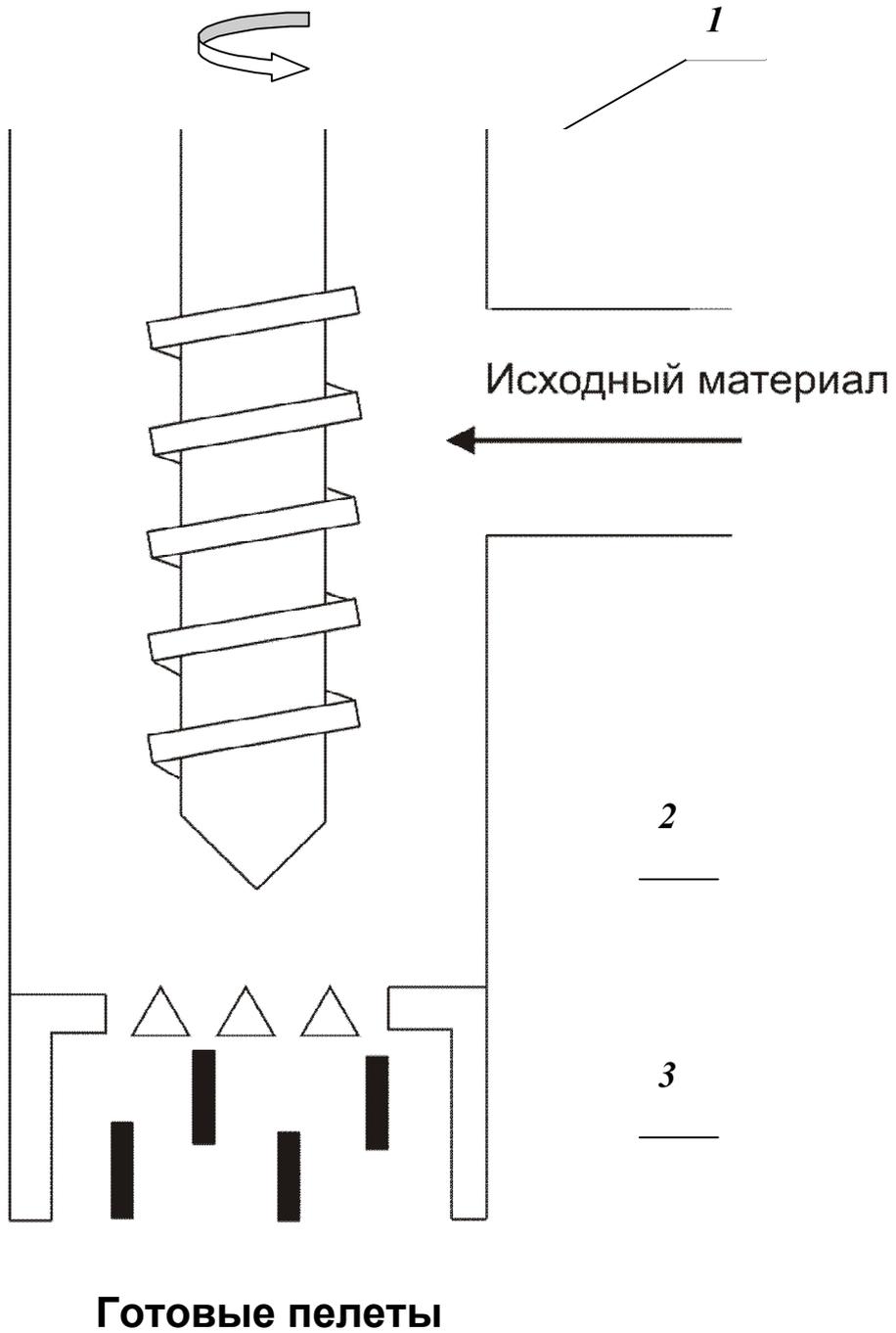
Метод гранулирования обеспечивает простое управление процессом и получение сферических монодисперсных гранул требуемого размера и равномерной структуры, при сжигании достигается значительное повышение КПД топливоиспользующих агрегатов по сравнению с рядовым углем. Основным агрегатом при окусковании мелких классов угля является гранулятор, производство и эксплуатация которого освоены промышленностью. Но из-за ряда недостатков гранулированного топлива, а именно низкой прочности и водоустойчивости, высокого расхода связующих, как правило нефтепродуктов (200 кг/т), способ сегодня не находит широкого распространения.

1.3. Пелетирование

Одним из разновидностей процесса получения окускованного топлива является прессовое гранулирование или пелетирование. Процесс образования пелет происходит в экструдере и схематично представлен на рис. 1.11.

Материал загружается внутрь аппарата и при помощи шнека направляется на решетку, установленную внутри экструдера. Материал продавливается сквозь отверстия решетки, формируясь в пелеты.

Британская угольная компания «British Coal» провела широкомасштабные исследования для улучшения переработки мелкодисперсных частиц каменного угля. Испытания проводились в Шотландии в г. Глазго [1], где использовали экструдер для пелетирования угольных шламов влажностью 22–24 %. В качестве связующего использовались цемент, крахмал бентонит, поливинилацетат и др.



*Рис. 1.11. Пелетирование в экструдере:
1 – корпус экструдера; 2 – вращающийся шнек; 3 – решетка.*

Для эффективного распределения связующего в смеси угля применялся винтовой питатель. Образующиеся пелеты имели диаметр 22 мм. Исследования показали, что:

- процесс получения пелет этим способом требовал большого расхода электроэнергии;
- с увеличением размера частиц исходного материала (более 2 мм) пелеты разрушались;
- применение цемента в качестве связующего увеличивало зольность готового продукта;
- крахмал в качестве связующего, будучи органическим веществом, разлагался микроорганизмами и был водонестойким, что в конечном итоге снижало качество пелет.

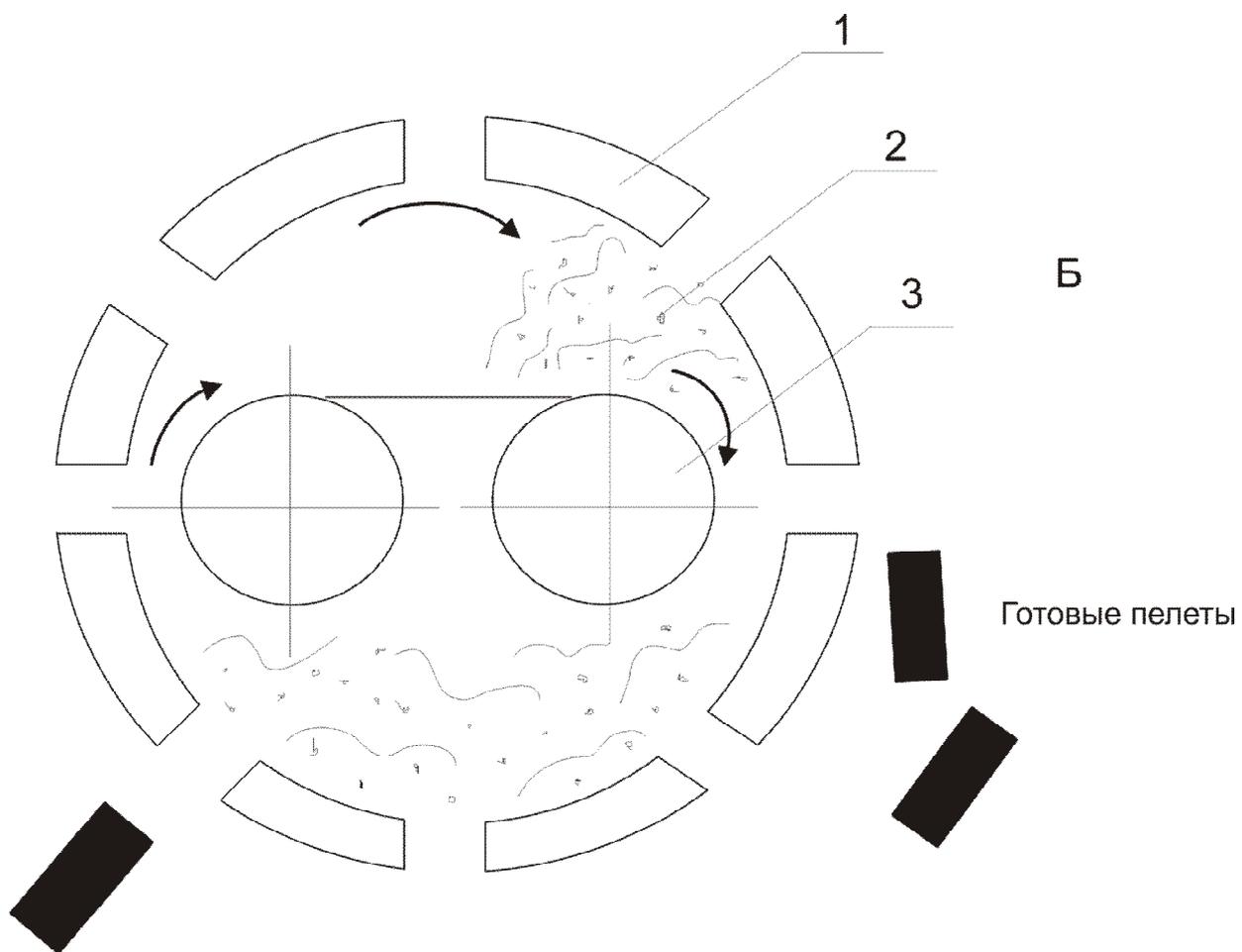
Существуют и другие аппараты прессового гранулирования – полые перфорированные барабаны, привод которых является обычным двигателем с редуктором. Внутри такого барабана вращаются в одну сторону два вала, продавливающие смесь материала со связующим через отверстия, образуя пелеты (рис. 1.12, 1.13).

Пелетирование каменноугольной мелочи имеет ряд преимуществ:

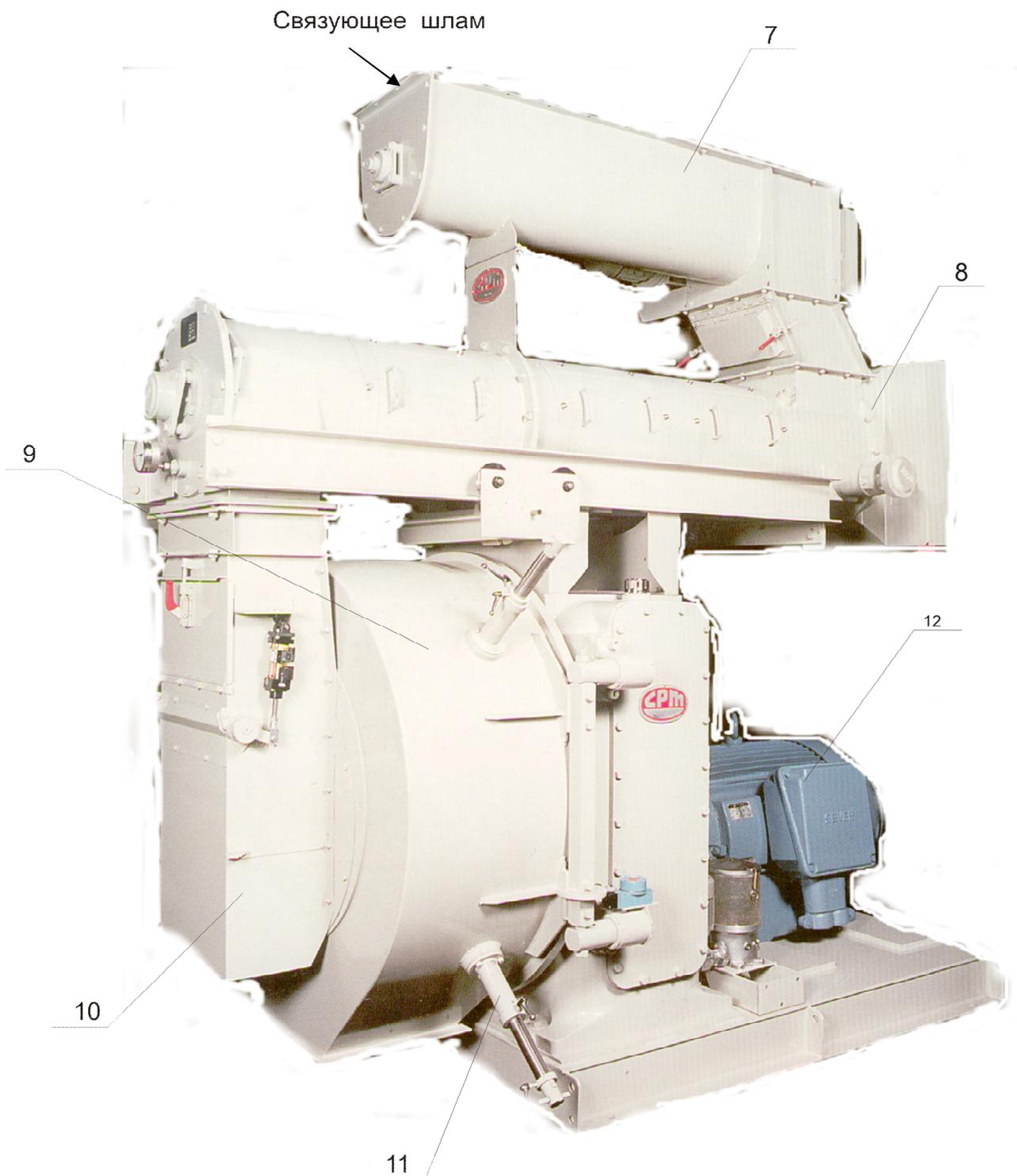
- отсутствие термообработки;
- применение в качестве связующего нетоксичных и канцерогенных материалов;
- возможность окускования каменноугольной мелочи значительной влажности.

Следует отметить, что в Кузбассе рассматривалось несколько проектов технологии окускования угольной мелочи, но какому из проектов было отдано предпочтение, автору неизвестно:

- фирма «Экогран», г. Кемерово, производство гранул из угольных шламов влажностью до 50 % (технология и оборудование производства США);
- Китай, производство брикетов из угля влажностью до 27 % с применением связующего (тип связующего является коммерческой тайной);
- фирма «Оксоль», Калининград, производство брикетов из угля влажностью до 18 % (с предварительным подсушиванием) с применением связующего (тип связующего также является коммерческой тайной).



*Рис. 1.12. Получение пеллет в перфорированном барабане:
1 – перфорированный барабан; 2 – смесь материала
со связующим; 3 – обжимные валки.*



*Рис. 1.13. Промышленный барабан для получения пеллет:
 1 – шнековый смеситель; 2 – питатель; 3 – перфорированный барабан
 в защитном кожухе; 4 – разгрузочный бункер; 5 – устройство для регу-
 лировки ножей при обрезке пеллет; 6 – привод.*

1.4. Производство формованного топлива (кокса)

Относительная ограниченность запасов хорошо спекающихся углей для коксования и высокие затраты на их добычу вызывают необходимость расширения сырьевой базы коксохимических заводов путем вовлечения в шихту для коксования менее дефицитных и широко распространенных марок углей. Одним из путей, позволяющих заменить некоторую часть высокосортных коксующихся углей (уголь марок К и Ж) на уголь марок Г, Т и СС, является окускование – брикетирование и гранулирование отдельных компонентов шихты.

Частичное брикетирование угольной шихты перед коксованием является одним из эффективных современных методов интенсификации коксового производства. Угольная масса в виде брикетов изменяет объем шихты, находящейся в коксовой батарее. В результате на стадии пластического состояния брикеты вспучиваются. При превращении их в кокс наблюдается усадка. Кроме того, увеличение объема брикетов вызывает существенное уплотнение всей шихты. Коксование уплотненных и частично гранулированных шихт способствует улучшению контакта между частицами угля, что создает более благоприятные условия для образования прочного кокса.

Приготовление брикетов осуществляется по обычной технологии брикетирования каменных углей со связующими на вальцовых прессах или в барабанных грануляторах. Этот метод благоприятствует повышению производительности коксовых печей, а также вовлечению в коксовые ресурсы слабоспекающихся углей, повышается механическая прочность кокса [1, 9].

Один из важнейших факторов, влияющих на процесс брикетирования и последующее коксование брикетов - правильный выбор связующего, которое определяет не только механическую прочность брикетов, но и их способность коксоваться. Спекаемость связующих для этого процесса является одной из главных их характеристик. Несмотря на большой выход летучих веществ у связующих, они оказывают существенное влияние на коксование. Во-первых, связующее способствует лучшему вспучиванию брикетов, вызывая увеличение их объема в 1,2–1,5 раза [3]. По этой причине происходит уплотнение угольной загрузки в коксовой печи и улучшается ее спекание. Во-вторых, связующее способствует механическому упрочению брикетов, что также положительно влияет на коксование. В качестве связующих рекомендует-

ся использовать нефтепродукты, каменноугольный пек, каменноугольную и сланцевую смолу и углемасляный пек.

С ростом давления прессования происходят уплотнение и упрочение структуры брикетов, положительно влияющие на спекание угля. Оптимальным считается давление прессования 20 МПа. При более низких давлениях качество брикетов неудовлетворительное. Частично брикетирование угольной шихты перед коксованием позволяет изготавливать брикеты при расходах связующего 5–6 %.

На коксование частично брикетированной угольной шихты существенно влияет крупность угольных зерен, из которых получены брикеты. Со снижением верхнего предела крупности до 2–1,5 мм прочность брикетов возрастает. При достижении максимальной крупности угля 1 мм она резко падает. Эти изменения связаны со значительным увеличением удельной поверхности в классе 0–1 мм и нехваткой связующих для ее покрытия [3].

Над решением проблемы производства формованного топлива (кокса) работают во многих странах мира. Несмотря на разнообразие технологических схем, в них заложен один принцип – разделение производственного процесса на последовательно протекающие стадии, среди которых основные: механическая и термическая подготовка угля к переработке, формование и обработка формовок. В зависимости от направлений использования формованного топлива (доменное производство, коммунально-бытовое хозяйство) перечисленные стадии могут сокращаться или дополняться другими.

В России разработан метод получения формованного топлива из слабоспекающегося каменного угля [1]. Предложенная схема включает высокоскоростной нагрев мелкого угля газовым теплоносителем до температуры пластического состояния в системе вихревых камер; окускование предварительно нагретой до 400–420 °С угольной мелочи в форкамерном шнековом прессе. В процессе окускования уголь переходит в монолитную пластическую массу, которая при выходе из пресса подвергается продольной и поперечной резке. Спекание и прокаливание окускованной пластической массы происходит в шахтной печи непрерывного действия на основе окислительного пиролиза при конечной температуре 650–750 °С. Принципиальная технологическая схема производства формованного кокса показана на рис. 1.14. Предлагаемый метод переработки слабоспекающегося угля отличается от обычного коксования в камерных печах высокой скоростью протекания процесса



Рис. 1.14. Технологическая схема производства формованного кокса

(длительность производственного цикла по обработке сырья составляет 1–1,5 ч вместо 14–16 ч при периодическом коксовании), пониженной температурой коксования (650–750 °С вместо 1000–1100 °С), а также более простой аппаратурой.

Для производства формованного топлива рекомендуется использовать газовые угли зольностью не выше 10 %, влажностью 8–10 % и толщиной пластического слоя примерно 12 мм.

1.5. Экономическая эффективность использования окускованного топлива

Дальнейшее развитие централизованного теплоснабжения населения будет сочетаться в перспективе с использованием угольного топлива в натуральном виде в бытовом секторе.

В связи с расходом угля на нужды коммунально-бытового хозяйства, населения и других потребителей со слоевой системой сжигания создание условий, обеспечивающих рациональное использование угольного топлива, остается важной задачей, стоящей перед промышленными предприятиями и ведущими научно-исследовательскими организациями.

Для решения проблемы обеспечения потребителей топливом требуемого качества необходимо повысить уровень использования его в отопительных печах и установках коммунально-бытового хозяйства. Были проведены опыты с использованием рядового угля, крупно-средних сортов, термобрикетов и брикетов в бытовой кирпичной печи обычной конструкции с колосниковой решеткой. В результате получены следующие значения КПД печи: при сжигании рядового угля – 0,467; сортового угля – 0,625; брикетов – 0,7; термобрикетов – 0,751 [2, 9].

Поскольку КПД печей и котлов зависит от применяемого топлива, то для получения одного и того же энергетического эффекта у потребителя необходимо израсходовать неодинаковое количество различного по сортности топлива. Потребность в топливе будет значительно ниже при сжигании сортового топлива. Вместе с тем для получения одного и того же количества сортового топлива потребуются различные затраты труда. При одинаковой степени технической готовности рассматриваемых вариантов их внедрение в промышленность во

многим будет определяться экономичностью производства и сжигания получаемых видов продукции.

Конкурентоспособность различных видов угольного топлива во многом будет определяться стоимостью потребления, составными частями которой являются цена производителя и транспортные расходы. Вместе с тем такой подход является правомерным только при наличии прочих равных условий, которых практически не бывает. В частности, разные виды угольного топлива имеют разную теплоту сгорания, неодинаковый гранулометрический состав, что оказывает существенное влияние на КПД энергетических установок. В результате предприятия коммунально-бытового хозяйства и население для удовлетворения своей потребности в тепле будут расходовать далеко не одинаковое количество того или иного топлива. По этой причине конкурентоспособность в стоимостной форме определяется по уровню затрат, которые должен нести потребитель для получения им полезного тепла, т. е. с учетом КПД энергетических установок. Численные значения затрат (Z) на получение единицы полезного тепла (1 т условного топлива, или $29,4 \cdot 10^3$ МДж, или $7000 \cdot 10^3$ ккал) определяют из выражения

$$Z = (C_{\text{произ}} + \mathcal{E}_T) / \eta,$$

где $C_{\text{произ}}$ – цена производителя, р/т; \mathcal{E}_T – транспортные расходы на перевозку топлива до района потребления, р/т; η – коэффициент, соответствующий уровню полезного использования тепла топлива в энергетической установке.

Эффективным будет признан тот вариант, при котором затраты на получение единицы полезного тепла с учетом КПД его сжигания минимальные.

2. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

2.1. Получение гранул из каменноугольной мелочи

Цель работы: Изучить возможность получения гранул из каменноугольной мелочи с применением связующего.

Оборудование и материалы. Барабанный гранулятор, угольная мелочь, крупностью 0–3 мм, связующее (на основе нефтепродуктов), ретур, полимерные емкости объемом 200 мл, мерная посуда емкостью 100 мл, весы технические с разновесами, шпатель, стеклянная палочка, фарфоровая кружка, установка для определения прочности гранул.

Порядок проведения работы

1. Для проведения опытов приготовить 4 навески по 30 г исходного материала. Расход связующего от 100 до 300 кг/т. Количество ретура заданной крупности составляет 15–30 % от исходной навески. Конкретные данные задаются преподавателем. Если получение гранул идет без связующего, то используют шламы влажностью 15–30 %.

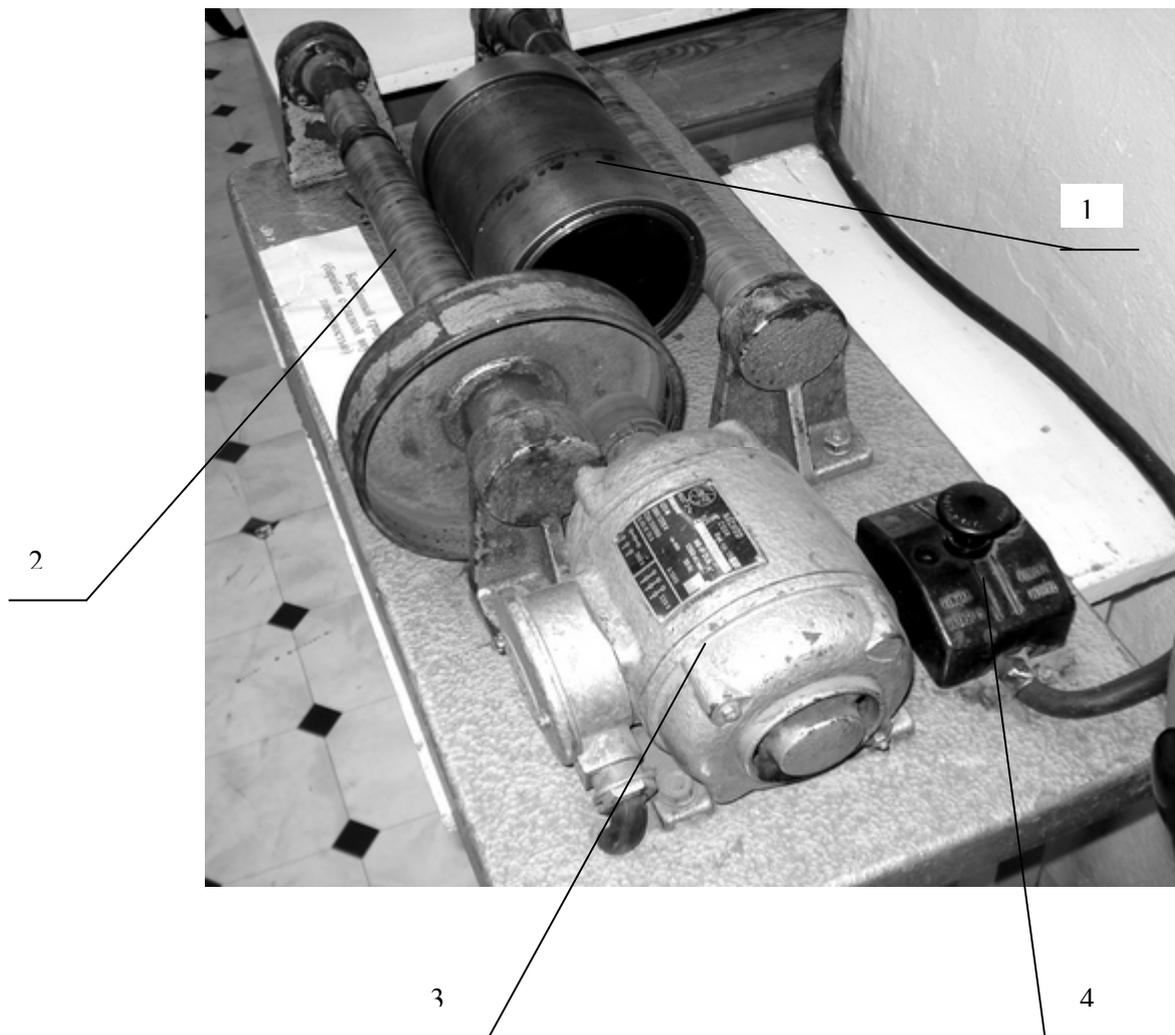
2. Ознакомиться с конструкцией установки для получения гранул (рис. 2.1). Установка состоит из барабана с отвинчивающейся крышкой 1, установленного на рольганге 2, электродвигателя 3 и пускателя 4.

3. Навеску материала обработать заданным количеством связующего, добавить ретур, перемешать и загрузить в барабан. Закрутить крышку, установить переключатель в положение «Пуск». Гранулы должны формироваться при вращении барабана в течение 8 минут. По истечении заданного времени барабан остановить. Образовавшиеся гранулы удалить из барабана после снятия крышки.

4. Необходимо выполнить:

- первый опыт со связующим и без ретура;
- второй опыт с тем же расходом связующего, что и в первом опыте, но с заданным количеством ретура определенной крупности;
- третий опыт с водой (в качестве связующего);
- четвертый опыт с водой и ретуrom.

5. Измерить диаметр гранул. Отобрать по четыре наиболее крупных гранул из каждой серии опытов и определить их влагоустойчивость. Для этого одну гранулу погрузить в стакан с водой объемом 100 мл и зафиксировать время ее полного разрушения. Повторить для гранул, изготовленных в каждой серии опытов.



*Рис.2.1. Установка для гранулирования:
1 – барабан; 2 – рольганг; 3 – электродвигатель;
4 – пускатель*

6. У оставшихся гранул определить механическую прочность методом сбрасывания каждой гранулы с высоты 0,5 м на металлическую плиту.

По результатам опыта определяют среднее арифметическое значение коэффициента сбрасывания, η (%):

$$\eta = \frac{G_2}{G_1} 100,$$

где G_1 – начальная масса испытуемой гранулы, г; G_2 – масса гранулы после падения (масса куса размером более половины от первоначального размера гранулы после сбрасывания с высоты 0,5 м на металлическую плиту).

Обработка результатов

Начертить схему лабораторной установки для гранулирования окатыванием. Составить спецификацию основных деталей.

Выполнить необходимые расчеты. Полученные результаты свести в табл. 2.1. Произвести их письменное обсуждение и сделать выводы по работе.

Таблица 2.1

Результаты опытов

Номер опыта	Связующее:		Масса навески, г	Время работы гранулятора, мин	Время разрушения гранулы в воде, с	Коэффициент сбрасывания, %
	тип	расход, г				

Контрольные вопросы

1. Назначение масляной грануляции каменноугольной мелочи.
2. Аппараты для получения гранул из каменноугольной мелочи.
3. Принцип действия существующих конструкций грануляторов.
4. Назначение связующего и его виды.
5. Механизм действия связующего.
6. Назначение ретурра при грануляции каменноугольной мелочи.
7. Преимущества процесса масляной грануляции перед другими способами окускования угольной мелочи.

2.2. Получение пелет из каменноугольной мелочи

Цель работы: Изучить возможность получения пелет из каменноугольной мелочи с применением связующего.

Оборудование и материалы. Поршневой экструдер, технические весы с разновесами, шпатель, стеклянная палочка, фарфоровая кружка, эксикатор, емкости объемом 50 мл, мерная посуда емкостью 200 мл, установка для определения прочности пелет, сушильный шкаф, угольная мелочь крупностью 0-3 мм, связующее (цемент, асбест, водорастворимые полимеры),

Порядок проведения работы

1. Для проведения опытов приготовить навеску угольной мелочи массой 150 г, материал поместить в эксикатор, добавить от 35 до 65 мл воды (задается преподавателем), тщательно перемешать и оставить на 30 минут. При этом рассчитать влажность полученной смеси

2. Ознакомиться с конструкцией и принципом работы лабораторной установки для получения пелет (рис. 2), представляющую собой поршневой экструдер, состоящий из следующих узлов: 1 – материальный цилиндр; 3 – поршень; 4 – шток с нарезанной по всей длине резьбой; 5 – задняя крышка, навинчивающаяся на материальный цилиндр и имеющая центральное отверстие с резьбой; 6 – рукоятка для вращения и одновременного перемещения штока 4; 7 – съемные опоры; 8 – передняя крышка, так же, как и задняя, навинчивающаяся на материальный цилиндр. Шток 4 ввинчивается в центральное отверстие задней крышки 5, что дает возможность осуществлять поступательное движение штока в обе стороны вращением в одну либо другую сторону рукоятки 6. Материальный цилиндр имеет две съемные опоры 8, при помощи которых установка крепится к лабораторному столу.

Рабочая поверхность поршня 3, а также внутренние поверхности передней крышки 8 и материального цилиндра 1 образуют рабочее пространство, куда помещается исходный материал 2 для формования пелеты.

3. Порядок работы на лабораторной установке следующий:

- снять переднюю крышку 8;
- вращением рукоятки 6 против часовой стрелки отвести поршень 3 на расстояние 5 см;
- навеску материала загрузить в материальный цилиндр и закру-

тить крышку;

– вращением рукоятки по часовой стрелке начать формирование pellets в рабочем пространстве материального цилиндра. Pelleta будет формироваться за счет давления, возникающего при осевом перемещении поршня. Рукоятку необходимо вращать до достижения специальной метки, нанесенной на винтовую нарезку штока. В этом положении материал выдержать в течение 2 – 3 минут, затем рукоятку повернуть на 0,5 оборота, влево и открутить переднюю крышку;

– образовавшуюся pelletу осторожно удалить из цилиндра, перемещая поршень вращением рукоятки по часовой стрелке.

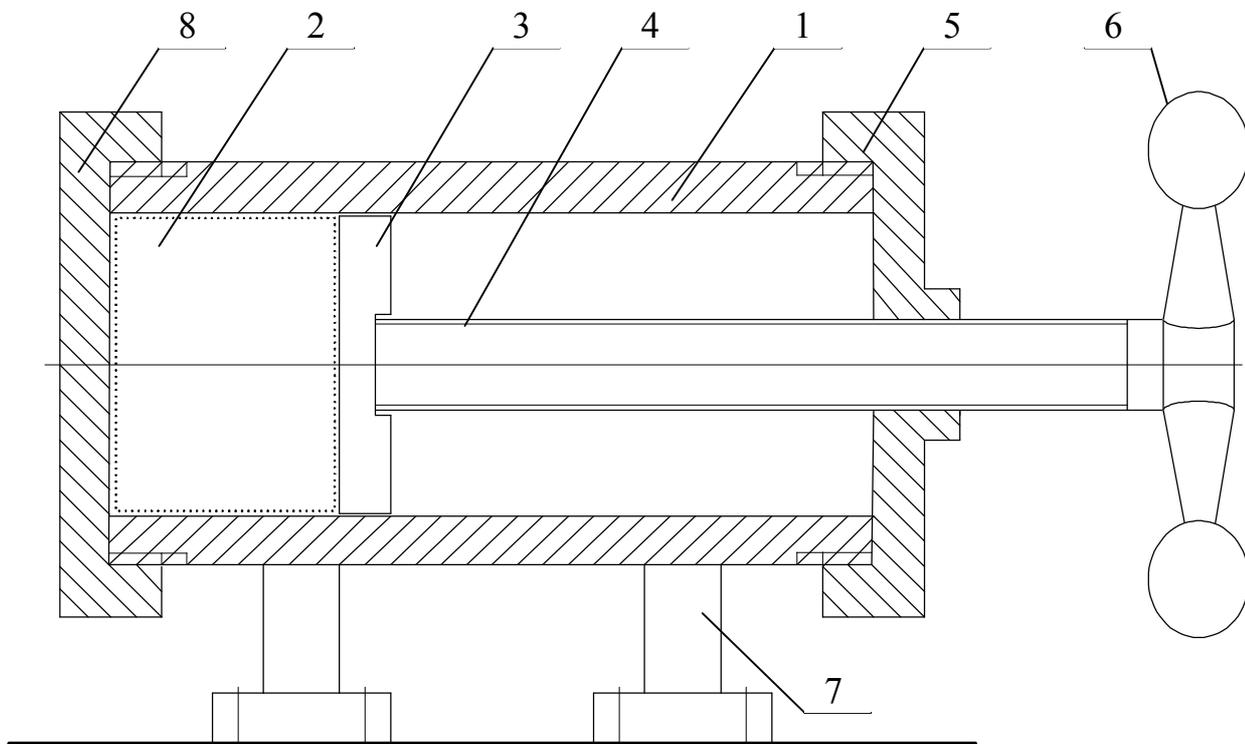


Рис. 2.2. Схема установки для pelletирования: 1 – материальный цилиндр; 2 – исходная смесь для pelletирования; 3 – поршень; 4 – шток с винтовой нарезкой; 5 – задняя крышка; 6 – рукоятка; 7 – съемные опоры; 8 – передняя крышка

4. По истечении 30 минут из приготовленной исходной смеси (см. п.1) отобрать 6 проб массой 20 г. К первым двум пробам добавить по 0,1 г (0,5 % от массы навески) полимерного связующего. К следующим двум пробам добавить 1–2 г (5–10 % от массы навески) цемента или асбеста. **Внимание!** Связующее наносить на всю поверхность пробы исходного материала и тщательно перемешивать для равномерного его распределения по всему объему. В оставшиеся две пробы связующее не добавлять.

5. В поршневом экструдере из приготовленных проб изготовить 6 пелет и поместить их в сушильный шкаф, нагретый до температуры 60 °С. При этой температуре сушить пелеты в течение 20 минут.

6. После сушки вынуть пелеты из сушильного шкафа, дать им полностью остыть и перейти к определению влагоустойчивости трех пелет (с различными связующими и без него) и механической прочности оставшихся трех пелет.

7. Водостойчивость оценить по размокаемости, погружая одну пелету в стакан с водой объемом 200 мл и фиксируя время ее полного разрушения.

6. У оставшихся трех пелет механическую прочность определить методом сбрасывания с высоты 0,5 м на металлическую плиту. По результатам опыта определить значение коэффициента сбрасывания, η (%):

$$\eta = \frac{G_2}{G_1} \cdot 100 \quad ,$$

где G_1 – начальная масса испытуемой пелеты, г; G_2 – масса пелеты после сбрасывания (масса куса размером более половины от первоначального размера пелеты после сбрасывания с высоты 0,5 м на металлическую плиту).

Обработка и оформление результатов эксперимента

Выполнить расчет по определению количества воды, необходимого для получения угольных шламов, заданной влажности.

Начертить схему лабораторной установки для пелетирования. Составить спецификацию основных деталей.

Результаты измерений и расчетные данные по каждой серии опытов занести в табл. 2.2. Произвести письменное обсуждение полученных результатов, сделать выводы.

Таблица 2.2

Результаты опытов

Номер опыта	Связующее		Масса пелеты, г	Время Разрушения пелеты в воде, с	Коэффициент сбрасывания, %
	тип	расход, г			

Контрольные вопросы

1. Назначение процесса пелетирования каменноугольной мелочи.
2. Оборудование для получения пелет из каменноугольной мелочи.
3. Принцип действия существующих конструкций аппаратов для производства пелет.
4. Назначение связующего для пелетирования и его виды.
5. Способы окускования каменноугольной мелочи.
6. Преимущества процесса пелетирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Евменова, Г. Л. Диверсификация угольной продукции: учеб. пособие / Г. Л. Евменова, Е. И. Моисеева; Кузбас. гос. техн. ун-т. – Кемерово, 2002. – 106 с.
2. Крапчин, И. П. Уголь сегодня, завтра (технология, экология, экономика) / И. П. Крапчин, Ю. С. Кудинов. – М.: «Издательский Дом «НОВЫЙ ВЕК», Институт микроэкономики, 2001. – 216 с.
3. Елишевич А.Т. Брикетирование полезных ископаемых. - М.: Недра, - 1989. - 300 с.
4. <http://www.mining-enc.ru/b/briketirovanie/>
5. http://www.consit.ru/st_organobent_ugol.shtml
6. <http://www.unitek-ltd.ru/problem.htm>
7. Классен, П. В. Основы техники гранулирования / П. В. Классен, И. Г. Гришаев. – М.: Химия. – 1982. – 272 с.
8. Вилесов Н. Г. Процессы гранулирования в промышленности / Н. Г. Вилесов, В. Я. Скрипко, В. Л. Ломазов, И. М. Танченко. – Киев: Техніка, 1976. – 192 с.
9. Комплексная переработка углей и повышение эффективности их использования. Каталог-справочник / сост. Г. С. Головин, А. С. Малолетнев: под общ. ред. В. М. Щадова. – М.: НТК «Трек», 2007. – 292 с.