

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

А.Н. Корчевский, Л.И. Серафимова

**«ОКУСКОВАНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ
И ПРОДУКТОВ ОБОГАЩЕНИЯ»**

Донецк, 2016

УДК 622.7:658.567.1(075.8)
ББК 33.4(97)
К 66

*Рекомендовано Учёным советом
ГОУ ВПО "Донецкий национальный технический университет" (г. Донецк)
в качестве учебного пособия для студентов горных специальностей,
протокол № 8 от 25 ноября 2016 г.*

Рецензенты:

Полулях А.Д. – доктор технических наук, профессор,
заведующий научно-исследовательской Приднепровской лабораторией
ОП «УкрНИИУглеобогащение» ГП «НТЦ «Углеинновация» (г. Днепропетровск)

Борщевский С.В. – доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Строительство зданий подземных сооружений и геомеханики»
ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет» (г. Донецк)

Окускование полезных ископаемых и продуктов обогащения: учебное пособие /
А.Н. Корчевский, Л.И. Серафимова. – Донецк: ГОУ ВПО «ДонНТУ», 2016. – 140 с.: ил.,
табл.

В учебном пособии изложены основные понятия об утилизации тонкозернистых полезных ископаемых, возможность получения из них высококачественной продукции для бытового и промышленного потребления. Приведены теоретические основы физического воздействия горного и брикетного производства на различные элементы биосферы, позволяющие более обоснованно разрабатывать стратегию развития производства брикетов.

Учебное пособие будет полезно для работы студентам и аспирантам технических и горных специальностей, работникам промышленных предприятий, инженерно-техническим работникам.

УДК 622.7:658.567.1(075.8)
ББК 33.4(97)
К 66

© А.Н. Корчевский, Л.И. Серафимова, 2016
© ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», 2016

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	6
1. ВВЕДЕНИЕ В КУРС.....	8
1.1 Статистический обзор технологии брикетирования композиций на основе отходов металлургического производства.....	8
1.2 Брикетирование как технологический процесс окускования полезных ископаемых.....	14
1.3. Классификация полезных ископаемых по брикетирующей способности.....	19
2. СВЯЗУЮЩИЕ ВЕЩЕСТВА. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ БРИКЕТИРОВАНИЯ СО СВЯЗУЮЩИМ.....	23
2.1 Связующие органического происхождения.....	23
2.1.1 Адгезия и ее роль в процессе брикетирования.....	31
2.1.2 Когезия связующего и ее роль в процессе брикетирования.....	33
2.1.3 Структура пленки связующего на твердой поверхности.....	35
2.1.4 Аутогезия в процессах склеивания.....	36
2.1.5 Гипотеза механизма образования брикетов со связующим.....	38
2.2 Основные факторы, влияющие на брикетирование углей со связующим.....	40
2.2.1 Физико-химические свойства субстрата.....	40
2.2.2 Свойства связующего.....	44
2.2.3 Давление прессования.....	46
2.2.4 Охлаждение брикетов.....	48
2.3 Технология брикетирования углей со связующим.....	49
2.3.1 Подготовка углей.....	50
2.3.2 Подготовка связующих.....	53
2.3.3 Приготовление брикетной смеси.....	57
2.3.4 Прессование.....	59
2.3.5 Охлаждение и погрузка брикетов.....	63

2.4 Теоретические основы брикетирования бурых углей без связующих.....	67
2.4.1 Гипотезы образования буроугольных брикетов.....	67
2.4.2 Технологические параметры брикетирования.....	72
2.5 Технология брикетирования бурых углей.....	77
2.5.1 Подготовка угля по крупности.....	78
2.5.2 Сушка угля.....	81
2.5.3 Охлаждение угля перед прессованием.....	84
2.5.4 Прессование.....	86
2.5.5 Охлаждение и погрузка брикетов.....	90
2.6 Моделирование технологической схемы процесса брикетирования.....	94
2.6.1 Вариант технологической схемы процесса брикетирования.....	96
2.6.2 Рекомендации промышленного применения технологий брикетирования и внедрения их на предприятиях.....	98
3. ТЕХНОЛОГИЯ БРИКЕТИРОВАНИЯ РУД.....	100
3.1 Современные способы и технологии брикетирования вторичных железосодержащих материалов.....	100
3.2 Агломерация и окомкование руд.....	110
3.2.1 Сущность процесса агломерации.....	110
3.2.2 Технология производства агломерата.....	114
3.2.3 Оптимальная крупность компонентов шихты и ее приготовление.....	116
3.2.4 Окомкование концентратов железных руд.....	120
3.3 Методы термической переработки топлива.....	123
3.3.1 Общие сведения.....	123
3.3.2 Технология процесса коксования. Кокс и его свойства.....	124
3.3.3 Характеристика сырья для коксования.....	126
3.4 Безопасность брикетного производства.....	128
3.4.1 Безопасность на буроугольных брикетных фабриках.	

Взрывоопасность промышленных пылей.....	128
3.4.2 Вредное действие пыли и газов на организм человека.....	131
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	135
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	136

ПРЕДИСЛОВИЕ

При современном уровне развития металлургического производства значительно возрастают масштабы материального потребления ресурсов и значения фактора полноты их использование, поэтому привлечение вторичных материальных ресурсов имеет первостепенное значение. В связи с этим усовершенствования традиционных и разработка новых технологий является необходимым условием постоянного развития металлургии.

Резкое обострение ситуации в конце 80-х – начала 90-х годов XX века на рынке энергоносителей вызвало необходимость проанализировать процесс брикетирования с точки зрения энергетических затрат. В результате наиболее выгодным, а, также, и приоритетным, оказался процесс брикетирования мелкофракционных материалов в холодном состоянии со связывающими добавками.

Экономное и рациональное использование сырья во всех отраслях народного хозяйства является важным условием роста промышленного производства.

Угольная промышленность, являясь одной из важнейших отраслей экономики и топливно-энергетического комплекса, вместе с тем остается убыточной и требует вложения больших финансовых средств, для ее развития. Цены на уголь не могут подняться в связи с прямой ценовой зависимостью от его основных конкурентов в выработке энергии – нефти и природного газа. Долгосрочные перспективы предсказывать сложно, но можно предположить, что уже к 2030-му году уголь может стать основным источником топливной энергии, т.к. имеет огромные запасы по сравнению с нефтью и газом. Человечеству неизбежно придется вкладывать средства на разработку программ по снижению загрязнения окружающей среды из-за добывания и производства угля. В связи с этим, развитие угольной промышленности примет мировые масштабы. Несомненно, также возрастут и цены на уголь и его производные, а, следовательно, его производство станет рентабельным.

Один из прогрессивных методов сокращения потерь, повышения качества и улучшения эффективности использования материальных ресурсов является

брикетирование. Утилизация тонкозернистых полезных ископаемых, возможность получения из них высококачественной продукции для бытового и промышленного потребления — *главное назначение брикетирования.*

При обогащении полезных ископаемых, согласно используемых технологий, практически всегда получают два продукта. Это – концентрат, и отходы.

К сожалению, зачастую концентрат находится в таком виде, что его непосредственное использование в последующей переработке невозможно, или нецелесообразно. Следовательно, широко распространены способы окускования при переработке разнообразных концентратов полезных ископаемых и методы термической переработки топлива. Анализ проблемы взаимодействия производства окускования и окружающей среды позволяет выявить закономерности этого взаимодействия и наметить основные пути решения проблемы в будущем. Принципиальное значение имеет новая классификация видов и результатов воздействия горного и брикетного производства на различные элементы биосферы, позволяющая более обоснованно разрабатывать стратегию развития производства брикетов. Оптимизация воздействия горного производства на окружающую среду может быть достигнута путем создания экологизированного (малоотходного и безотходного) производства. Это требует широкого развития горно-экологических исследований, направленных на разработку и последующую реализацию: мониторинга той части биосферы, которая подвергается воздействию горного производства; принципов и методологии экономической оценки эффективности мероприятий по рациональному использованию минеральных ресурсов и охране окружающей среды; техники и технологии малоотходного, а в последующем - безотходного брикетного производства.

Поэтому разработка и внедрения передовых, энергосберегающих, эффективных технологий окомкования железосодержащих отходов металлургического производства является перспективной и актуальной научно-практической задачей.

1. ВВЕДЕНИЕ В КУРС «ОКУСКОВАНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ И ПРОДУКТОВ ОБОГАЩЕНИЯ»

1.1 Статистический обзор технологии брикетирования композиций на основе отходов металлургического производства

На сегодня проблема использования отходов, как вторичного сырья остается одной из самых важных, что обусловлено ростом масштабов загрязнения естественных сфер твердыми отходами производственной и хозяйственной деятельности человека. В Украине по состоянию на конец 2008 г. образовалось 2301,8 млн. т отходов, а вообще наличие отходов в специально отведенных местах составила 21017,2 млн.т. Большая часть отходов может быть использована повторно, кроме того для этого являются необходимыми технологии и средства, но наряду с этим объемы использованного вторичного сырья в стране постоянно сокращаются, так за 2008 г. уровень использования отходов в качестве вторичного сырья составил лишь 5,26 % от общего объема отходов [28].

Рабочими государственной статистической службы, по задаче государственной комиссии по приоритетному развитию направлений научно-технических исследований, проведен обзор образования и использования вторичного сырья и отходов производства по регионам в 2009 году. Данные выборочно приведенные в таблице 1.1 по тем регионам, где образование вторичного сырья является самым большим, и для большей наглядности проиллюстрированы на диаграмме рис.1.1. Из которой видно, что образовывалось вторичного сырья больше чем использовано, а уровень использования отходов в качестве вторичного сырья возрос в среднем до 38,02% от общего объема отходов. На предприятиях становится проблемой утилизация и захоронение вторичного сырья и отходов производства, или обеспечение хранения для их дальнейшего использования. В Украине размещено больше 2 млрд. т. шлаков и шламов производства черных металлов, которые занимают 160 тыс. га земель. Нарастание объемов складирования отходов продолжается.

Проблема утилизации техногенных отходов приобретает все большую актуальность в ряде областей промышленности Украины, прежде всего, в горнодобывающей, металлургической, угольной и машиностроительной.

Таблица 1.1

Образование и использование вторичного сырья и отходов производства по регионам в 2009 году.

Регионы, обл.	Образовалось вторичного сырья за отчетный период, тыс.т	Использовано вторичное сырье за отчетный период, тыс.т
Днепропетровская	153783,3	62001,1
Донецкая	28673,4	6906,0
Запорожская	3602,9	1249,6
Луганская	13499,5	5114,0
Харьковская	2759,4	1644,1

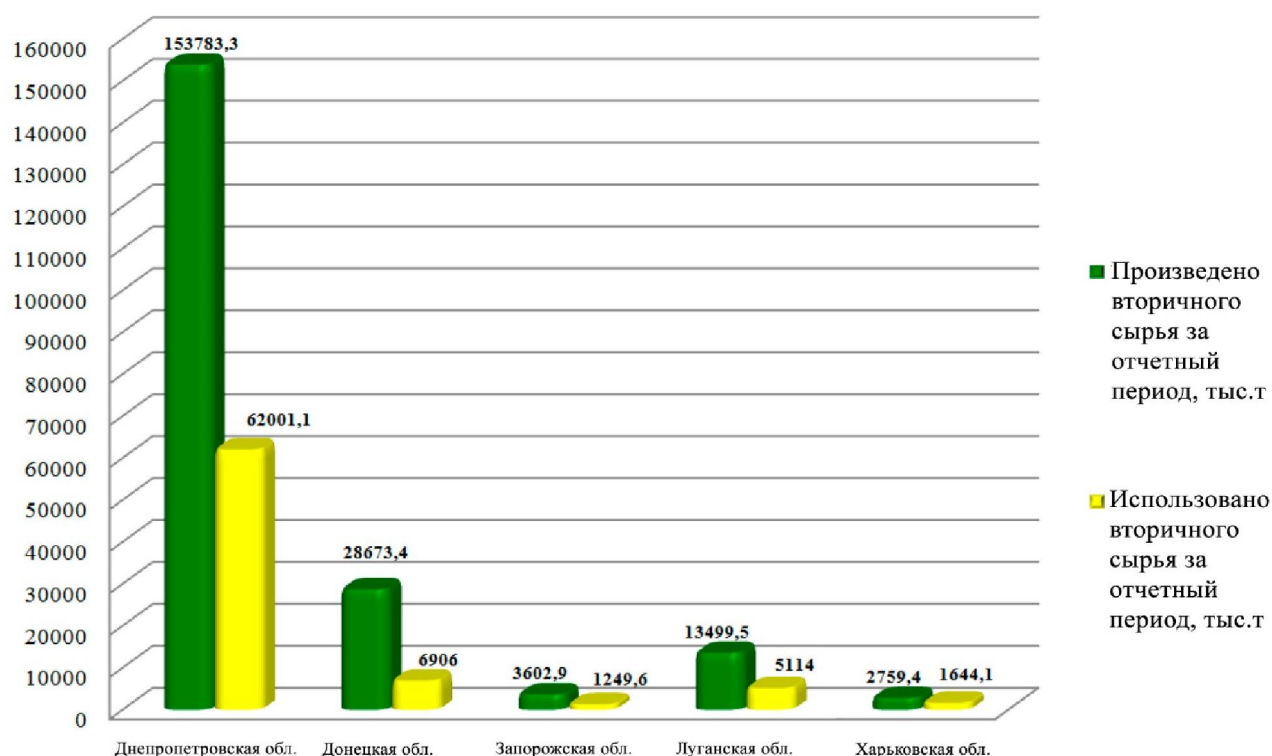


Рис. 1.1 - Образование и использование вторичного сырья и отходов производства по регионам в 2009 году.

Если рассмотреть данные по образованию и использованию лома и отхо-

дов черных и цветных металлов в Украине в целом и по регионам в 2009 году (таблицы 1.2, 1.3, 1.4), то видно, что наша промышленность отдает приоритеты использованию вторичного сырья, которое образовалось раньше, в промышленных процессах и технологиях.

Таблица 1.2

Образование и использование лома и отходов черных и цветных металлов в Украине в 2009 году.

Всего лома и отходов	Образовалось за отчетный период, тыс. т	Использовано за отчетный период, тыс. т
Черных металлов	7941,8	11309,6
Цветных металлов	45,5	216,3

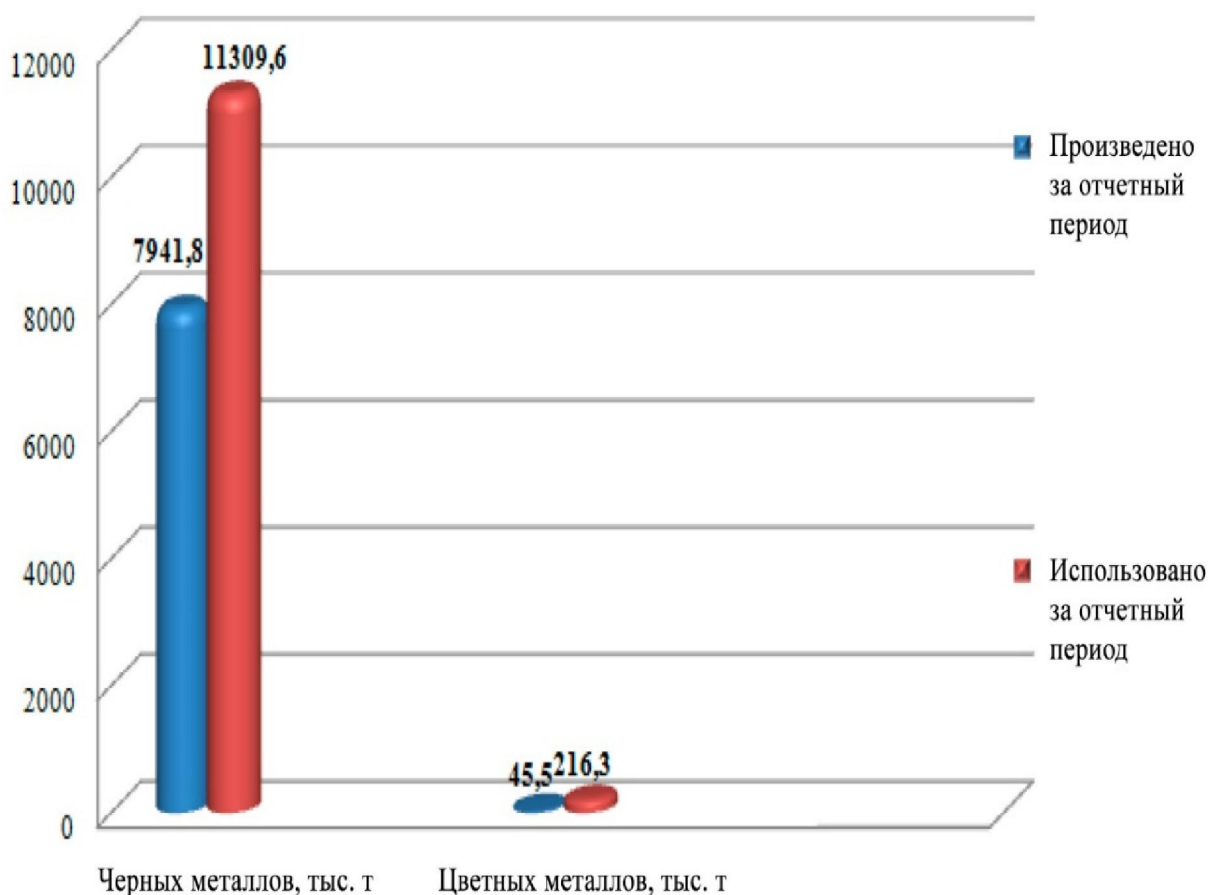


Рис. 1.2 – Образование и использование лома и отходов черных и цветных металлов в Украине в 2009 году.

Таблица 1.3

Образование и использование лома и отходов черных и цветных металлов
по регионам в 2009 году.

Области	Всего лома и отходов черных металлов, тыс. т		Области	Всего лома и отходов цветных металлов, т	
	Образовалось за отчетный период	Использовано за отчетный период		Образовалось за отчетный период	Использовано за отчетный период
Днепропетровская	2092,2	2886,5	Днепропетровская	5666,6	23559,6
Донецкая	3212,9	5275,8	Донецкая	15676,4	100251,4
Запорожская	964,8	1581,2	Запорожская	5798,5	19551,8
Луганская	975,4	1319,2	Луганская	1501,9	18891,6
Харьковская	130,6	15,1	Харьковская	2720,8	5175,6

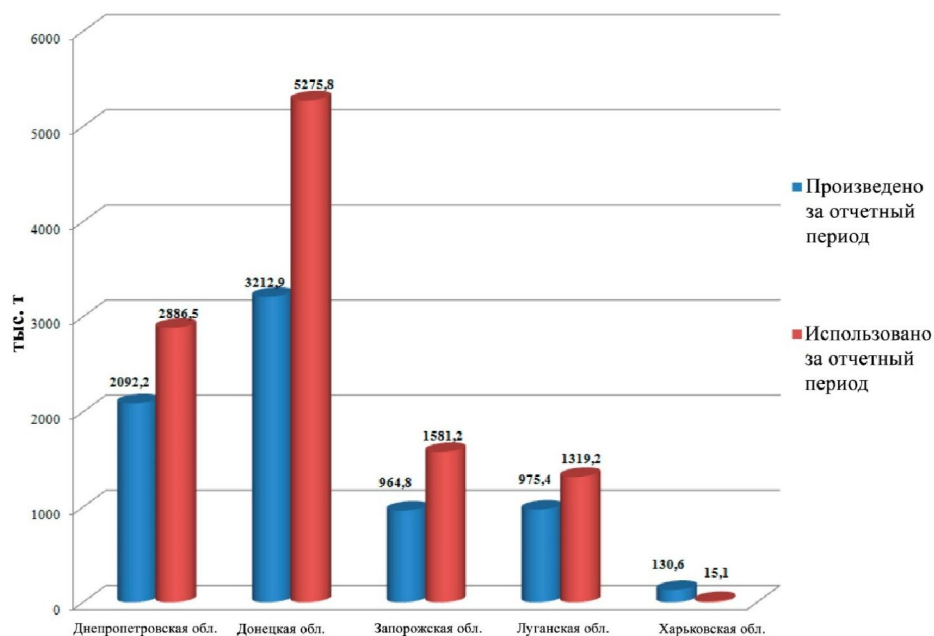


Рис. 1.3 – Образование и использование лома и отходов черных металлов по регионам в 2009 году.

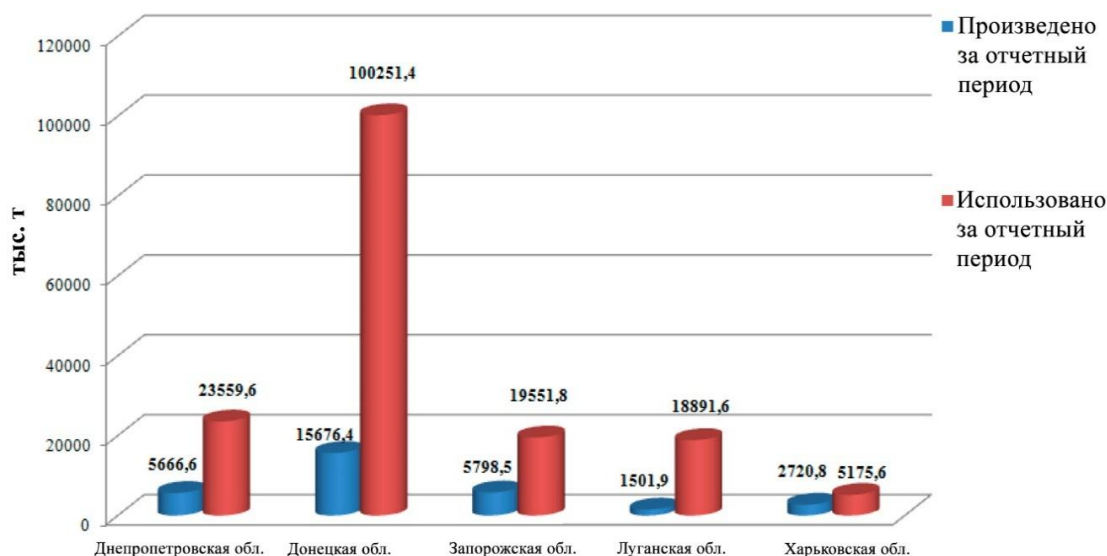


Рис. 1.4 – Образование и использование лома и отходов цветных металлов по регионам в 2009 году.

Таблица 1.4

Образование и утилизация металлических отходов в 2013 году.

Образовано, тыс.т	Утилизировано, обработано (переработано), тыс.т
7354,3	6773,7

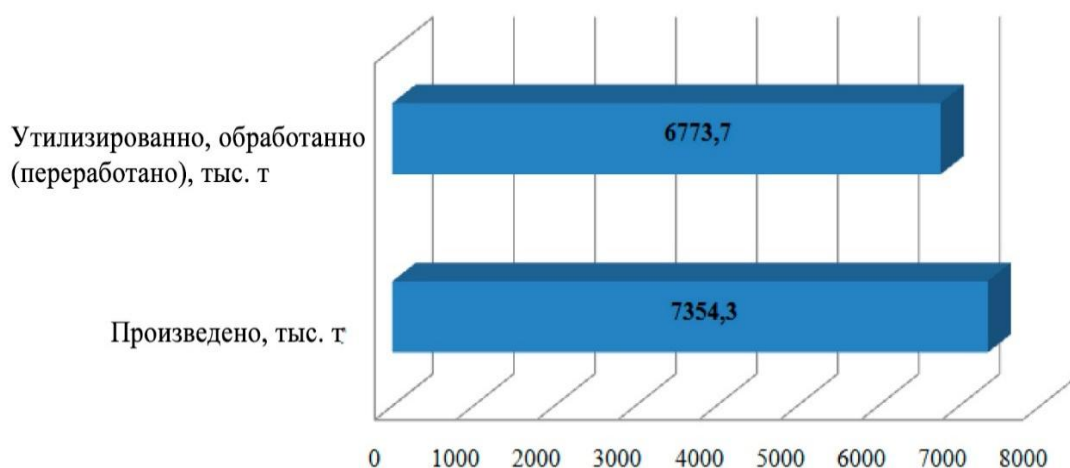


Рис.1.5 – Образование и утилизация металлических отходов в 2013 году.

Основной проблемой во взаимоотношениях между экономикой и экологией является незаинтересованность субъектов предпринимательской деятельности в улучшении экологической ситуации, поскольку внедрение перерабатывающих и ресурсо - сохраняющих технологий ведет к увеличению

затрат и в большинстве случаев не дает экономического эффекта. Переработка и повторное использование отходов в качестве вторичных ресурсов может и должно быть выгодным, эта деятельность должна положительно отображаться на прибыли или экономической эффективности предприятия [29].

В процессе хозяйственной деятельности перед субъектами экономической деятельности постоянно возникает потребность выбора между несколькими альтернативными вариантами, с которых необходимо избрать наиболее рациональный с экономической точки зрения и при этом получить положительный экологический эффект. Симбиозом таких выгод может стать использование на предприятии технологий по переработке отходов, в результате которых предприниматель получает вторичное сырье, которое может использовать в качестве материальных ресурсов в основном производстве. Это является альтернативой приобретения материальных ресурсов у посторонней организации может стать вложение средств в организацию перерабатывающих процессов на базе основного производства [30].

Наиболее приемлемой не только с экологической, но и с экономической точки зрения является утилизация отходов внутри собственного производства, так как это позволяет использовать их в виде относительно дешевого сырья, которое содействует значительному снижению затрат на шихту, повышению качества и конкурентоспособности продукции, а главное, уменьшению себестоимости готовой продукции.

При дальнейшем рассмотрении этой темы и разработке варианта технологической схемы и рекомендаций эти выводы будут учтены.

Контрольные вопросы:

- 1. Перечислить экологические и экономические проблемы влияющие на использование отходов как вторичного сырья.*
- 2. Проанализировать актуальность утилизации техногенных отходов в металлургической и горной промышленности.*
- 3. Анализ образования и использование лома и отходов цветных металлов по регионам.*
- 4. Экологический эффект от технологии переработки отходов как вторичного сырья.*

1.2 Брикетирование как технологический процесс окускования полезных ископаемых

Один из прогрессивных методов сокращения потерь, повышения качества и улучшения эффективности использования материальных ресурсов является *брикетирование*.

Брикетирование — процесс механической переработки тонкозернистых и порошкообразных полезных ископаемых, их концентратов и отходов производства, позволяющий получить механически и термически прочный сортовой продукт — брикет, имеющий определенную геометрическую форму, размеры и массу.

Брикеты используются в угольной, коксохимической, металлургической, химической и других отраслях промышленности, а также как бытовое топливо.

В зависимости от свойств полезных ископаемых и технологического назначения брикеты должны быть:

- атмосфероустойчивыми (не разрушаться от температурных воздействий и атмосферных осадков);
- механически прочными (выдерживать достаточно высокие сопротивления удару, истиранию и изгибу);
- достаточно пористыми, обеспечивающими хорошую проницаемость газов при высоких температурах горения и плавки;
- с минимальной долей влаги, наличие которой требует дополнительного расхода тепла на испарение и затрудняет газопроницаемость брикетов;
- температуроустойчивыми (не должны разрушаться от воздействия высоких температур горения и плавки).

Углебрикетное производство позволяет:

- получать высокосортное и транспортабельное топливо улучшенного качества;
- сокращать потери угля при хранении, перевозках и сжигании;
- предотвращать самовозгорание углей;

- привлекать для коксования дополнительные ресурсы неспекающихся марок углей;

- использовать низкокачественные местные виды топлива;

- повышать темпы добычи бурых углей с целью их использования для энергетики и технологической переработки.

Использование брикетов в металлургическом производстве позволяет:

- повысить мощность металлургических печей за счет большей насыпной плотности брикетов по сравнению с шихтой;

- обеспечить более быстрое протекание восстановительных процессов;

- снизить расход электроэнергии в электросталеплавильном процессе и общее потребление тепла;

- повысить стабильность свойств выплавляемого металла с одновременным увеличением его извлечения;

- расширить сырьевые ресурсы металлургического передела за счет использования относительно бедных руд, недефицитных видов топлива и углесодержащих отходов производства;

- улучшить условия труда обслуживающего персонала.

Брикеты в зависимости от особенностей их производства и использования бывают подушкообразной, прямоугольной, цилиндрической, конической форм весом от нескольких граммов до 5-10 кг.

Первоначально окускование вели исключительно путем брикетирования. Данный тип окускования был разработан в 1880 г. шведским инженером Грендалем и широко использовался в начале XX века для всех типов руд, как цветных, так и черных металлов (Керченский металлургический завод – 1915 г.), Александровский завод (в настоящее время завод им. Петровского, г. Днепропетровск), Юзовский (Донецкий) металлургический завод, Таганрогский металлургический завод и ряд других.

Брикетирование руд и концентратов основано на их прессовании, при котором получают куски одинаковой формы. В 20-х годах брикетные фабрики были вытеснены гораздо более производительным процессом – агломерацией.

В настоящее время брикетированию подвергается угольная мелочь и незначительное количество руд цветных металлов (окисленные никелевые руды, сульфидные медные концентраты, цинковые концентраты и ряд других).

Агломерация процесс окускования полезных ископаемых, который основанный на горении твердого топлива в слое частиц полезного ископаемого и за счет выделяемого тепла (при горении твердого топлива) полезные ископаемые расплавляются с последующей кристаллизацией расплава при его остывании. Получаемый продукт называют агломератом.

Процесс агломерации также появился в конце XIX века. Английскими инженерами Геберлейном и Хантингтоном в 1887 г. был предложен новый способ окускования сульфидных руд – агломерирующий обжиг (окислительный обжиг сульфидных руд). Процесс проводился в так называемом котле Геберлейна-Хантингтона. В котел загружалась сульфидная руда на колосниковую решетку и через пустотелую цапфу подавался воздух под давлением под колосниковую решетку. Вначале горячим воздухом руда зажигалась, а затем шла подача холодного воздуха. Характерной чертой нового процесса было: послойное продвижение зоны горения. Все необходимое тепло после окончания зажигания получали за счет экзотермической реакции горения сульфидов в токе воздуха, так как в слой руды не добавляли специальных добавок – топлива. Немецкий инженер Завельсберг в 1905 г. усовершенствовал идею англичан и предложил загружать в их котлы пылеватую руду в смеси с угольной или коксовой мелочью, количество которой при сгорании выделяет необходимое тепло, достаточное для полного окускования руды. В таком виде данный процесс получил название агломерация.

Однако агломерация обладает рядом недостатков, основными из которых является: содержание в отходящих газах значительного количества окиси углерода; невозможность ведения процесса агломерации тонкоизмельченных концентратов, без их предварительного окомкования; относительно низкая прочность агломерата. В связи с этим аглофабрики сооружаются вблизи или на территории металлургических заводов, из-за невозможности транспортировать

агломерат на большие расстояния.

Возить влажный концентрат на аглофабрики не выгодно из-за издержек связанных с перевозкой воды, кроме того, в зимнее время он смерзается. Предварительная сушка концентрата требует дополнительных энергетических затрат.

Так постепенно пришли к необходимости окомкования концентратов. Первое упоминание об этом процессе относится к 1912 г. в работах шведского инженера Андерсона. Позже были опубликовано несколько работ в Германии, Норвегии. Упрочняющий обжиг при этом не применялся.

Малый интерес к проблеме окомкования в те годы объяснялся главным образом отсутствием в большом количестве сырья для окомкования. Поэтому неудивительно, что широкие исследования нового производственного процесса начались в 1942-1943 гг. В это время истощились запасы богатых железных руд США и они были вынуждены разрабатывать технологию обогащения таконитов (железистых кварцитов) района Верхних Озер. Простота их обогащения и возможность получения недорогих концентратов требовали решения проблемы их дальнейшего использования, и, прежде всего окускования. В США первая опытная установка была сооружена в Горном бюро в 1946 г. Окатыши получали в барабане, а затем их транспортировали для обжига в шахтную печь. Температура обжига составляла 1050...1150⁰С. Окатыши содержали 62...65% железа.

В 1948 –1949 гг. в США, в штате Миннесота, введена в строй первая опытно-промышленная установка. Позже аналогичные сооружаются в Англии, Германии, Швеции. В 1955 г. при освоении железорудных месторождений в районе Верхних Озер помимо обогатительных фабрик пущена фабрика по производству окатышей.

В последнее время этот процесс окускования в железорудной промышленности имеет интенсивное развитие по нескольким причинам: высокая прочность окатышей, а, следовательно, возможность транспортировать их на большие расстояния при наличии большого количества перегрузочных опера-

ций; равномерная крупность окатышей и невысокое содержание в них мелочи, что обуславливает высокую газопроницаемость шихты; более экономичный тепловой баланс, нежели при агломерации (расход тепла сокращен более чем в два раза); отсутствие в отходящих газах окиси углерода; относительно низкая производительность агломерационных машин при спекании тонкоизмельченных концентратов.

На Украине первая опытная установка появилась в 1955 г. на Южном горно-обогатительном комбинате (ЮГОК), затем сооружаются окомковательные фабрики на Центральном, Северном и Полтавском горно-обогатительных комбинатах.

Все рассмотренные способы окускования имеют ряд одинаковых технологических особенностей. Условно возможно технологический процесс окускования полезного ископаемого разбить на несколько этапов, включающих одну или несколько операций:

- подготовка сырья к окускованию (дробление, грохочение, сушка, дозировка компонентов и приготовление шихты, нагрев или охлаждение перед окускованием);
- окускование полезного ископаемого (брикетирование, агломерация, окомкование);
- обработка полученного окускованного материала (дробление, сушка, обжиг, охлаждение);
- отгрузка и складирование

Контрольные вопросы:

- 1. Теоретические основы брикетирования.*
- 2. Руды и их концентраты как объекты брикетирования.*
- 3. Теоретические основы процесса агломерации.*
- 4. Объяснить процесс агломерации в котле Геберлейна - Хантингтона.*
- 5. Перечислить недостатки агломерации.*
- 6. Объяснить причины интенсивного развития окускования в железорудной промышленности.*

1.3. Классификация полезных ископаемых по брикетирующей способности

По брикетирующей способности все полезные ископаемые и отходы производства делятся на две основные группы — *A* и *B* (рис. 1.5). Группа *A* представлена полезными ископаемыми и отходами, брикетируемыми без связующих веществ. Группа *A* имеет четыре подгруппы:

- *подгруппа а* — это материалы, содержащие в своем составе компоненты с цементирующими свойствами (глина, сульфиты металлов, восстановленное железо и др.). Сюда также входят мелкие, пылеватые и слабоструктурные материалы, в частности, железные руды, руды цветных металлов, бурые угли и др.;

- *подгруппа б* охватывает материалы, обладающие коллоидными свойствами — в большинстве случаев пылеватые и слабоструктурные ископаемые (бурые угли молодые, торф, хромово-никелевые руды и др.);

- *подгруппа в* - рудные полезные ископаемые, требующие восстановительного обжига брикетов (магнетитовая мелочь, пиритные огарки);

- *подгруппа г* - включает материалы, требующие высокого давления пресования (более 150 МПа) из-за отсутствия в них цементирующих компонентов (некоторые железные руды, старые бурые угли).

К *группе B* относятся полезные ископаемые и отходы, брикетируемые с присадкой связующих веществ (большинство ископаемых неорганического происхождения и отходы производства, а также каменные угли всех марок, антрациты и топливные отходы).

Группа *B* имеет две подгруппы:

- *подгруппа д* представлена веществами, брикетируемыми с присадкой связующих минерального происхождения (руды, отходы производства);

- *подгруппа е* состоит из материалов, брикетируемых с присадкой связующих органического происхождения (каменные угли, антрациты, коксовая мелочь и некоторые руды).

Брикетирование углей осуществляется двумя способами: *со связующими*

(каменные и старые бурые угли, антрациты, коксовая мелочь) и без связующих (молодые бурые угли).

Связующими (клеями, адгезивами) называются вещества, способные соединять разобщенные твердые тела и сохранять их прочный контакт в условиях значительных внешних воздействий).

Связующие могут быть органического и неорганического происхождения.

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 эластические 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, токсично действующих 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, хорошо транспортироваться.

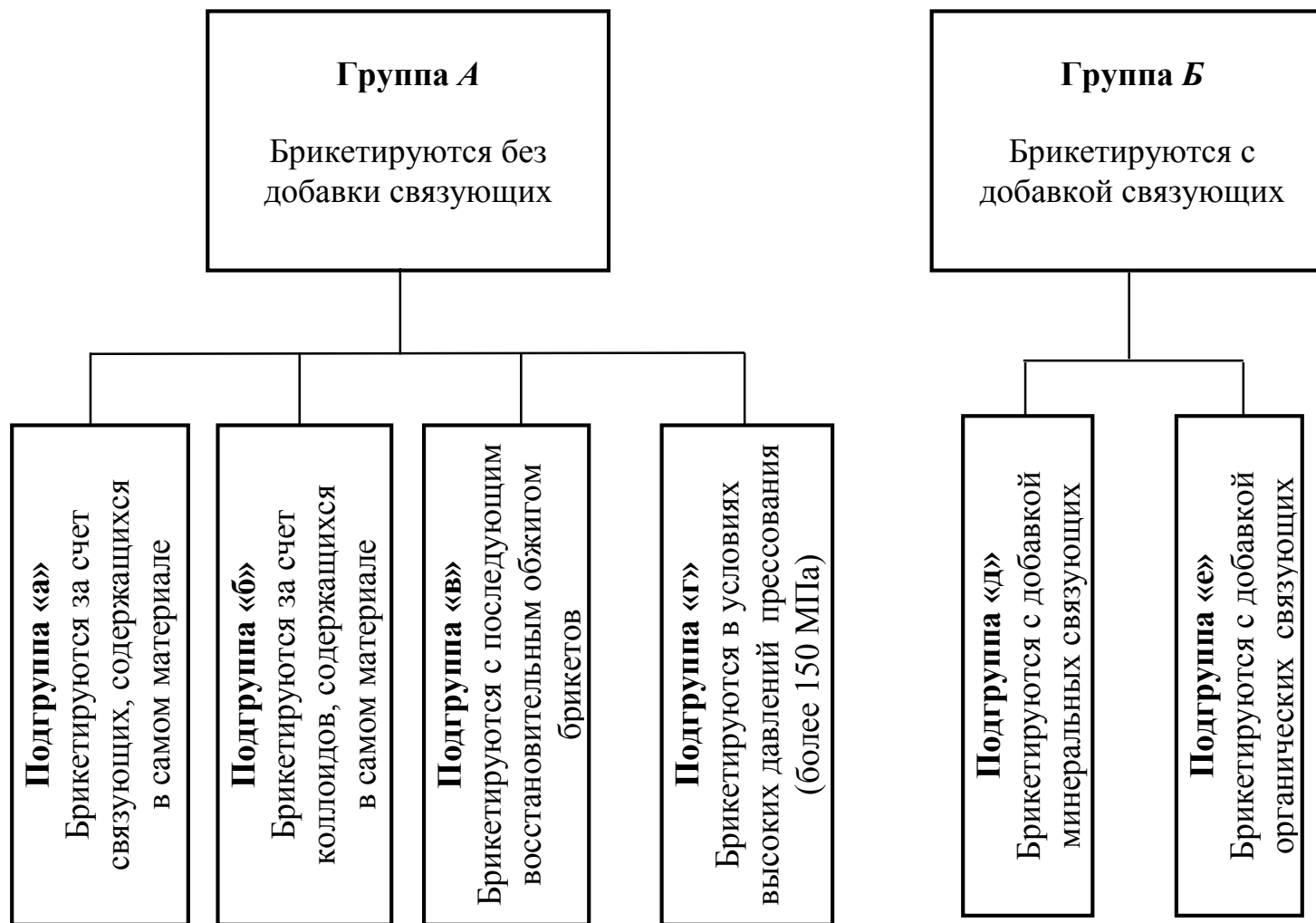


Рис.1.6 Классификация полезных ископаемых и отходов производства по брикетирующей способности.

Брикетирование как обособленный технологический процесс окускования полезных ископаемых складывается из следующих производственных операций:

1) подготовка сырья к прессованию: дробление, грохочение, измельчение и сушка; препарирование связующих веществ; дозировка компонентов брикетной шихты, их смещение, нагрев и охлаждение брикетной шихты перед прессованием;

2) прессование брикетной шихты с приложением требуемых усилий, определяемых в зависимости от физико-химических свойств, петрографического и минерального состава брикетируемого материала;

3) обработка «сырых» брикетов с целью быстрее их затвердевания (охлаждение, пропарка, карбонизация, сушка, восстановительный обжиг и др.);

4) складирование и погрузка готовых брикетов.

По назначению угольные брикеты бывают бытовые и промышленные. Основным потребителем бытовых брикетов является население, которое получает их в насыпном виде или расфасованными в мешки небольшой массы. Для придания бытовым брикетам повышенной термической и механической прочности, а также бездымности их подвергают термообработке. Промышленные брикеты используют как сырье для полукоксования (бурые угли) и коксования (каменные и бурые угли). Каменноугольные брикеты могут выполнять функцию теплоизоляционного материала и основного сырья для получения различных видов электродов.

Контрольные вопросы:

- 1. Связующие вещества органического происхождения и их характеристика.*
- 2. Связующие вещества неорганического происхождения, их характеристика.*
- 3. Теоретические основы брикетирования с помощью связующих.*
- 4. Теоретические основы брикетирования без связующих веществ.*
- 5. Твердые горючие ископаемые как объекты брикетирования.*
- 6. Перечислить полезные ископаемые и отходы по их брикетирующим способностям.*

2. СВЯЗУЮЩИЕ ВЕЩЕСТВА. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ БРИКЕТИРОВАНИЯ СО СВЯЗУЮЩИМ

Формирование структуры брикетов со связующими следует рассматривать как процесс склеивания разобщенных частиц твердых материалов с помощью клеев (адгезивов). Под воздействием усилий прессования твердые частицы, покрытые связующим, объединяются (склеиваются) в брикет.

Прочность брикетов во многом определяется условиями и закономерностями протекания явлений адгезии, аутогезии и когезии.

2.1 Связующие органического происхождения

Наиболее распространенными связующими органического происхождения являются высокомолекулярные соединения, полученные при химической переработке нефти, угля, сланцев и других природных полимеров с молекулярной массой тысяча и более. В зависимости от температурных и механических воздействий они могут находиться в трех агрегатных состояниях: стеклообразном, высокоэластичном и текучем.

Стеклообразное состояние характеризуется способностью связующих к значительным деформациям. Оно проявляется в макромолекулах, у которых преобладают подвижные звенья. Основные константы стеклообразного состояния — температура размягчения, пенетрация и растяжимость

Высокоэластичное состояние определяет особую подвижность макромолекул от температурных воздействий. В этом состоянии связующие обладают способностью к значительным обратным деформациям. Они характеризуются проявлением подвижности отдельных участков макромолекулы при сохранении в целом ее стабильного положения. Высокоэластичное состояние определяется температурой плавления.

Текучее (вязкотекучее) состояние характеризуется необратимыми деформациями, приводящими к истинному течению. Связующие в этом состоя-

нии — жидкости. Оценку текучего состояния дают по температуре предельно разрушенной структуры и текучести.

Температура размягчения — это минимальный температурный интервал, при котором связующие еще остаются агрегативно твердыми, но в фазовом состоянии появляется определенная аморфность. По этому параметру устанавливают режим прессования. Температура размягчения определяется стандартными методами «Кольцо и шар» или «Кольцо и стержень».

Пенетрация — это величина, характеризующая твердость связующих. Она определяется при заданной температуре (чаще 25⁰С) по степени проникновения в связующее стандартной иглы. Единица пенетрации равна 0,1 мм.

Растяжимость — это способность связующих вытягиваться в нити при определенной температуре (чаще 25⁰С). Единица растяжимости — [см]. Растяжимость косвенно характеризует клеящую способность связующих.

Температура плавления — это температура каплевыделения у связующих в стандартных условиях. Она характеризует максимальный уровень высокоэластичного состояния.

Температура вспышки — это температура, при которой происходит вспышка выделяющихся газов и паров в смеси с воздухом при поднесении пламени определенной длины. При этом связующее не должно воспламеняться и гореть.

Текучесть — способность связующих течь под действием собственной массы при температуре, превышающей температуру плавления

Температура предельно разрушенной структуры — это температура, при которой связующие переходят в истинно текучее состояние, т.е. становятся ньютоновскими жидкостями. При этой температуре достигается наиболее эффективное распыление связующих и последующее их растекание по твердой поверхности. Длительное пребывание связующих при такой температуре ухудшает их клеющую способность.

В химическом отношении связующие представляют собой гетероорганические высокомолекулярные соединения (ВМС). Они имеют сложный состав и

структуру, образованные из углеводов и их неметаллических производных. Углеводородные комплексы (масла, смолы, асфальтены) определяют групповой химический состав органических высокомолекулярных связующих.

Масла — наиболее низкомолекулярные углеводородные гибриды. Они придают связующим подвижность, текучесть и служат источником образования смол. Адгезионная активность у масел незначительна. Углеводородный состав масел у различных связующих неодинаков.

Смолы — углеводородные соединения, молекулярная масса которых занимает промежуточное положение между маслами и асфальтенами. Они обладают сравнительно высокой поверхностной активностью. С повышением температуры до 200—300⁰С переходят в асфальтены. Смолы понижают температуру размягчения, повышают эластичность и способствуют термической устойчивости связующих

Асфальтены — углеводородные соединения, обладающие наивысшей молекулярной массой. Их рассматривают как две-три обобщенные молекулы смол. Основным свойством асфальтенов, придающим им высокую адгезионную активность и эластичность, является способность растворяться в мальтенах (смесь масел и смол). Асфальтены обеспечивают твердость, температурную устойчивость, полярность и спекаемость.

Кроме основных компонентов в органических связующих в том или ином количестве могут присутствовать соединения типа карбенов и карбоидов, а также свободные кислоты. Карбены и карбоиды нарушают у связующих однородность, но повышают спекаемость. Кислоты способствуют усилению поверхностной активности адгезивов.

Нефтесвязующие - представляют собой тяжелый остаток от переработки смолистых нефтепродуктов, обладающий характерными свойствами ВМС. Нефтесвязующие при температуре окружающего воздуха находятся в твердом состоянии. Имеют цвет от черного до темно-бурого. Основные физико-механические характеристики их приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Основные физико-механические характеристики нефтесвязующих
и каменноугольного пека

Параметр	Нефтесвязующие	Каменноугольный пек
Плотность, кг/м ³	1045-1060	1250-1290
Пенетрация при 25 ⁰ С, мм	15-20	1-3
Растяжимость при 25 ⁰ С, см	5-7	0
Когезия при 25 ⁰ С, Н/м ²	(1,55-1,65)·10 ⁵	(2,2-2,4)·10 ⁵
Температура, ⁰ С :		
- размягчения	70-75	80-85
- плавления	102-103	105-108
-предельно-разрушенной структуры	180 - 200	210 - 220
-вспышки	210-220	230-240
Вязкость, Па·с:		
при 100 ⁰ С	50 - 80	30 - 50
при 200 ⁰ С	0,5 - 1	0,8 - 1

Примерный групповой химический состав нефтесвязующих приведен в табл. 2.2.

Каменноугольный пек. Это твердый, хрупкий продукт черного цвета с раковистым изломом. Он относится к тяжелым остаткам перегонки каменноугольной смолы коксования, полученных при температуре 360-380⁰С. В химическом отношении это сложная структурированная гетерогенная система. Она состоит из находящихся во взаимосвязи высококонденсированных и гетероциклических соединений и продуктов их уплотнения.

Основные физико-химические характеристики и групповой состав каменноугольного пека приведены в табл. 2.1 и 2.2.

Групповой химический состав нефтесвязующего и каменноугольного пека

Компоненты	Нефтесвязующее	Каменноугольный пек
Карбены и карбоиды	0,1-0,3	28-31
Асфальтены	20-25	3-6
Смолы	28-30	28-35
Масла:		
парафино-нафтеновые углеводороды	13,5-19,5	1 5-2,5
ароматические углеводороды легкие и средние	20,1-23,5	21-24
тяжелые	8-11	8-11
Асфальтогеновые кислоты	1,3-1,6	—
Ангидриды асфальтогеновых кислот	0,1	—
Неорганические соединения (зола)	0,1-0,2	0,2-0,3

В качестве сырья для производства каменноугольного пека применяют каменноугольную смолу. В отдельных случаях смола может использоваться как связующее. **Каменноугольная смола** - это черно-бурая вязкая жидкость, содержащая до 10% свободного углерода в виде карбенов и карбоидов, остальная доля - сложные ароматические и гетероциклические соединения с небольшим включением непредельных углеводородов. В результате термического крекинга смола разделяется на самостоятельные фракции, конечная из которых - пек.

Направленное модифицирование каменноугольного пека осуществляют путем компаундирования (смешения) с дистиллятами и отходами смолперегонки. 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 обу-

словлена наличием кальциевых, натриевых и аммониевых солей лигносульфоновых кислот — активных ПАВ.

Физико-химические свойства ССБ зависят от качества древесины и технологии ее переработки. Наиболее эффективны жидкие бардяные концентраты (КБЖ) из сульфит-дрожжевой бражки с содержанием сухих ССБ 44-50% и твердые бардяные концентраты (КБТ), в которых содержание последних достигает 80%.

Наличие в ССБ большого числа различных функциональных групп способствует активному закреплению этого связующего на твердой поверхности, быстрому высыханию и тонкослоевому растеканию по поверхности субстрата с образованием прочных адсорбционных связей эти процессы активизируются при нагреве. Однако применение сульфит-спиртовой барды в качестве связующих ограничено Брикетты, изготовленные из этих связующих, неводоустойчивы и высокосернисты. Первое обстоятельство связано с чрезмерной растворимостью ССБ в воде. Повысить водоустойчивость брикетов можно присадкой к брикетной смеси небольших количеств каустического магнетита MgO , сухогогашеной извести (пушонки) $CaOH$, гидроксида глинозема $Al(OH)_3$ или глины. Сера в ССБ отрицательно влияет на последующую переработку рудных и угольных брикетов. Поэтому, если расход связующего велик, ССБ необходимо обессеривать путем медленной упарки.

Гуматы являются продуктом извлечения гуминовых кислот из угля. Как связующие хорошо зарекомендовали себя гуматы натрия и аммония. Гуматы натрия получают высаливанием гуминовых кислот хлористым натрием. Для этого в щелочной раствор гуминовых кислот вносят хлористый натрий. В результате химических реакций гуматы натрия выпадают в осадок (высаливаются). Последний отделяют фильтрованием.

Гуматы аммония представляют собой продукт аммиачной вытяжки окисленных каменных или бурых углей. Промышленная технология их получения основана на реакции взаимодействия водного раствора аммиака с углем.

Гуминовые кислоты по своей структуре относятся к коллоидным веще-

ствам с большим содержанием функциональных групп. Одна из наиболее значительных их составляющих - фенольные структуры (50-60%). В этих кислотах велика доля углерода, сосредоточенного в основном в ароматических фрагментах (20-26%), а также бензолполикарбоновых кислот (до 30%). Молекулярная масса гуминовых кислот колеблется от десятков до сотен тысяч, подтверждая их высокомолекулярную основу.

Сланцевые битумы - это остаточный продукт комплексной переработки смолы, получаемой при газификации горючих сланцев. Сланцевая смола, пройдя вакуумную отгонку, образует различные продукты фракционирования. При температуре выше 325⁰С образуются сланцевые мазуты и тяжелый остаток — битумы. Последний обладает свойствами, близкими к нефтяным битумам и каменноугольным пекам. Эти связующие отличаются высокой клеящей способностью, твердостью (когезия равна $1,9 \cdot 10^5$ Н/м²) и гидрофобностью. Брикетты, полученные на сланцевых битумах, отличаются повышенной прочностью, водо- и термоустойчивостью.

Смола полукоксования (первичная смола, деготь) является основным продуктом термического разложения угля без доступа воздуха при температурах, не превышающих 550⁰С. Смола полукоксования - это темно-бурая вязкая жидкость. В химическом отношении она представляет собой сложную смесь органических высокомолекулярных соединений.

Смола полукоксования нашла применение как связующее при брикетировании коксовой шихты. Полученные брикетты смешиваются с основной массой коксовой шихты (примерно 70-75%) и направляются для коксования. Для изготовления угольных и рудных брикеттов, идущих для сжигания и плавки, смола полукоксования малоэффективна. В этом случае ее рекомендуется подвергнуть термической переработке, используя в качестве связующего тяжелую фракцию.

Фусы полукоксования - это отходы углехимического производства при полукоксовании. Они представлены на 50% смолами тяжелых фракций и твердых углеродистых включений. Образуются фусы при конденсации парогазовых

продуктов в предварительных холодильниках полукоксования углей. Фусы относятся к категории отходов продуктов, выход которых составляет около 1% массы перерабатываемого угля. По внешнему виду фусы густая вязкая смола темно-коричневого цвета. Их химический состав определяется смесью смол и углеродистых продуктов. Фусы отличаются низкой температурой размягчения. Легко окисляются. Этому способствует наличие у них большого количества полукоксовой пыли с развитой пористой поверхностью.

Для повышения адгезионной способности фусы дополнительно термически перерабатывают или окисляют кислородом воздуха. В целом каменноугольные фусы обладают более низкой связующей способностью, чем фусы полукоксования. Их расход при брикетировании составляет около 15% (фусы полукоксования - 11%, каменноугольный пек - 7-9%).

Контрольные вопросы:

- 1. Связующие вещества органического происхождения и их характеристики.*
- 2. Теоретические основы брикетирования с помощью связующих.*
- 3. Необходимость термической переработки угольных фусов.*
- 4. Сравнительный анализ угольных фусов и фусов полукоксования.*
- 5. Меры влияющие на повышение адгезивной способности отходов угле-химического производства при полукоксовании.*
- 6. Химический состав и свойства фусов полукоксования.*
- 7. Применение смол полукоксования как связующих при брикетировании коксовой шихты.*
- 8. Каким образом осуществляют направленное модифицирование каменноугольного пека.*
- 9. Каким способом возможно повысить водостойчивость брикетов.*
- 10. Проанализировать основные физико-химические характеристики и групповой состав каменноугольного пека.*

2.1.1 Адгезия и ее роль в процессе брикетирования

Под адгезией понимают взаимодействие, возникающее между приведенными в контакт поверхностями двух разнородных жидких или твердых тел. На первом этапе адгезионные взаимодействия связаны с эффективным растеканием жидкого связующего по поверхности твердого тела, т.е. со смачиванием. Хорошее смачивание является обязательным условием формирования эффективной клеевой пленки связующего на твердой поверхности.

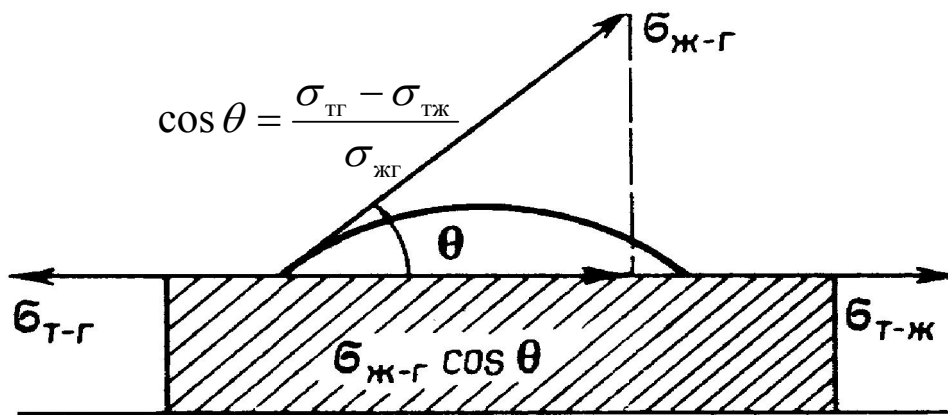


Рис. 2.1 – Определение краевого угла смачивания θ .

Мерой смачиваемости твердой поверхности связующим является краевой угол смачивания θ (рис.2.1) - угол, образованный поверхностью раздела двух фаз с поверхностью третьей. Его принято отсчитывать в сторону более полярной (как правило жидкой) фазы. Нулевое значение краевого угла соответствует полному смачиванию, значение краевого угла $\theta = 180^\circ$ соответствует случаю полного несмачивания твердой поверхности связующим.

Величина θ определяется из условия равновесия поверхностных энергий на границе раздела фаз «жидкость – воздух» ($\sigma_{жг}$), «твердое тело - жидкость» ($\sigma_{тж}$), «твердое тело – воздух» ($\sigma_{тг}$), а равновесное значение - по уравнению Юнга (рис. 2.1):

$$\cos \theta = \frac{\sigma_{тг} - \sigma_{тж}}{\sigma_{жг}} \quad (2.1)$$

Уменьшение энергии системы, которое характерно при растекании адгезива, выражается *коэффициентом растекания K*:

$$K = \sigma_{\text{тг}} - \sigma_{\text{жж}} - \sigma_{\text{тж}} \quad (2.2)$$

Коэффициент растекания представляет собой разность энергии адгезии клея к субстрату и энергии когезии самого клея. Он служит мерой смачивающей способности клея. Если *K* положительный, то связующее обладает достаточной смачиваемостью, если отрицательный – оно не растекается по твердому и свертывается в виде линзы.

Для разъединения двух соприкасающихся (склеенных) частиц необходимо преодолеть сопротивление. Затрачиваемая при этом работа называется работой адгезии, которая зависит от природы склеиваемых тел, состояния и формы их поверхности, условий контакта и других факторов.

Работу адгезии связующего к твердой поверхности можно определить из уравнения Дюпре-Юнга:

$$W_a = \sigma_{\text{жг}} (1 - \cos \theta), \text{ где} \quad (2.3)$$

В соответствии с наиболее современной и обстоятельной молекулярной теорией адгезия связующего к твердой поверхности обусловлена действием в зоне контакта межмолекулярных Ван-дер-Ваальсовых сил различной природы, а также ионно-электростатических взаимодействий, водородных и химических связей. Работа адгезии W_a является суммой следующих слагаемых:

$$W_a = W_a^d + W_a^o + W_a^i + W_a^h + W_a^{ch}, \quad (2.4)$$

где индексы означают, что работу адгезии определяют: d - дисперсионное взаимодействие; o - ориентационное диполь-дипольное взаимодействие; i - индукционное взаимодействие; h - водородная связь; ch - химическая связь.

Ван-дер-Ваальсовые дисперсионные взаимодействия носят универсальный характер и безусловно проявляются в зоне контакта «адгезив-субстрат». Они ответственны за проявление простой физической адсорбции при закреплении связующего на твердых частицах.

Ориентационные Ван-дер-Ваальсовые взаимодействия возникают между

полярными (дипольными) структурами участников адгезионного комплекса.

Наличие у молекул адгезива (субстрата) постоянного диполя приводит к тому, что контактирующие с ней молекулы второй фазы, которые могут не иметь постоянного диполя, поляризуются и у них появляется индуцированный дипольный момент. При этом возникает индукционное взаимодействие.

Особо важное место в балансе сил, действующих в зоне контакта «адгезив-субстрат», принадлежит специфическим водородным и химическим связям. Наличие на твердой поверхности и в связующем полярных функциональных групп, ненасыщенных С-С-связей в алифатических и ароматических соединениях является предпосылкой возникновения указанных высокоэнергетических связей (энергия ван-дер-ваальсовых связей составляет 0,1-2,4 ккал/моль, водородных связей – 5-6 ккал/моль, химических связей – 50-100 ккал/моль). В частности, высокая электроотрицательность атомов кислорода в карбоксильных и гидроксильных группах способствует возникновению Н-связей с аналогичными структурами другого участника адгезионного контакта. Ненасыщенные С-С - связи способствуют возникновению в зоне контакта химических π -связей, полярные группы и свободные радикалы – возникновению ковалентных химических связей по донорно-акцепторному механизму.

Согласно молекулярной теории наибольшая прочность адгезии связующего к твердой поверхности обеспечивается при наличии в зоне контакта максимального количества слагаемых уравнения 2.4. При этом решающий вклад в работу адгезии W_a вносят высокоэнергетические водородные и химические связи.

Контрольные вопросы:

- 1. Роль адгезии в процессе брикетирования.*
- 2. Коэффициент растекания, свойства.*
- 3. Определение краевого угла смачивания.*

2.1.2 Когезия связующего и ее роль в процессе брикетирования

Прочность клеевого соединения во многом зависит от прочности самого клея, т.е. является функцией когезии. *Когезия* характеризует интенсивность межмолекулярных взаимодействий в объеме адгезива и служит критерием оценки прочности связующего.

Когезионная прочность связующего определяется *работой когезии* W_k – затратами энергии на разрыв столбика адгезива сечением 1 см^2 на две части.

Работа когезии находится из выражения: $W_k = 2 \cdot \sigma_{жс}$.

Когезия зависит, главным образом, от структурно-химических свойств адгезива и внешних нагрузок, приводящих к его статической усталости. Существенное влияние на когезию оказывают температурно-временные факторы, толщина слоя, а также присутствие поверхностно-активных веществ (ПАВ), наполнителей и воды.

Повышение температуры резко снижает когезию связующих. Рост температуры с 20 до 80°C уменьшает когезию нефтесвязующих примерно в 8 раз. Падение прочности прежде всего связано с энергией тепловых флуктуации, способствующих разрыву химических связей. С понижением температуры когезия растет, так как усиливаются межмолекулярные взаимодействия внутри адгезива.

Когезия максимальна в тонких пленках. Утолщение усиливает ориентационное расположение цепных молекул связующего. Для сдвига двух слоев внутри адгезива необходимо затратить повышенную энергию. В толстых пленках, обладающих большой объемной фазой, прочностные свойства внутренних и поверхностных слоев практически равны. Поэтому для внутреннего сдвига требуется меньшая энергия.

Когезию определяют силы внутримолекулярного сцепления, форма и длина молекул, структура адгезива, а также наличие ПАВ. На когезии связующих пагубно сказывается проникновение в пространство между цепными молекулами воды. Заполняя пустоты, вода оказывает расклинивающее действие. Ослабляются

силы притяжения между молекулами. Чрезмерная насыщенность пленки адгезива водой может привести к полному ее растворению.

Контрольные вопросы:

1. Роль когезии в процессе брикетирования.
2. Факторы влияющие на когезию.
3. Что определяет работа когезии.
4. Что происходит с когезией при изменении температурного режима.

2.1.3 Структура пленки связующего на твердой поверхности

В структуре пленки связующего на твердой поверхности можно выделить два слоя – граничный и объемный. Граничным принято называть слой, находящийся в непосредственном контакте с твердым материалом. В этом слое за счет взаимодействия с субстратом образуются цепи ориентированных в пространстве молекул и макромолекул связующего (рис. 2.2).

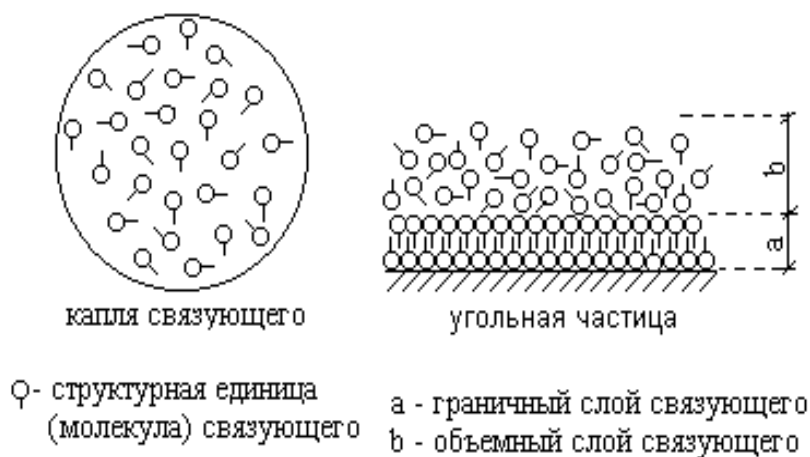


Рис. 2.2 – Структура связующего в исходном состоянии и на твердой поверхности

Упорядочивание молекул связующего за счет их пространственной ориентации приводит к структурированию граничного слоя. При этом молекулы адгезива соединяются в единую пространственную сетку, отличающуюся высокой механической (когезионной) прочностью. Высокий уровень когезии в гра-

ничном слое обусловлен усилением межмолекулярных взаимодействий за счет резкого сближения молекул адгезива в ориентированных слоях. По мере утолщения клеевой пленки и, соответственно, большей удаленности молекул (макромолекул) от твердой поверхности структурированность связующего резко уменьшается. При этом граничный слой переходит в объемный, свойства которого (адгезия и когезия) не отличаются от свойств исходного связующего.

Следовательно, максимальная прочность брикетов может быть достигнута при полном распределении связующего на поверхности брикетируемого материала в виде граничных (адсорбционных) слоев.

Контрольные вопросы:

1. *Структура связующих в исходном состоянии на твердой поверхности.*
2. *Влияние граничных слоев на прочность брикетов.*
3. *Перечислить условия достижения максимальной прочности брикетов.*

2.1.4 Аутогезия в процессах склеивания

В такой сложной системе, как брикет, процессы структурообразования не ограничиваются образованием комплекса «адгезив-субстрат». Имеет место контактирование этих комплексов между собой. Прочность последних определяется *аутогезией* между пленками адгезивов и когезией связующих. Аутогезию рассматривают как самослипание двух приведенных в соприкосновение поверхностей одного и того же вещества, препятствующее их разделению по месту контакта.

Аутогезия представляет собой частный случай адгезии. Все установленные для адгезии закономерности присущи аутогезии. Слипание однородных тел не всегда приводит к образованию на границе раздела структуры аналогичной объемной фазе вещества. Зачастую аутогезионная связь менее прочная, чем когезионная. У низкомолекулярных связующих наблюдается равенство аутогезии

и когезии.

Необходимым условием аутогезионных взаимодействий является слияние (коалесценция) пленок адгезива. Коалесценция в первоначальный период сопровождается прилипанием за счет обоюдного смачивания контактирующих слоев адгезива. Чтобы отделить I слой от II слоя, необходимо затратить работу, равную энергии прилипания двух слоев одного и того же адгезива друг к другу. Эта работа отвечает начальной аутогезии или аутогезии прилипания. Максимального значения аутогезия достигает со временем. В зоне контакта происходит восстановление структуры адгезива, близкой к объемной. Как правило, степень коалесценции не равна единице. Она максимальна у низкомолекулярных связующих. Аутогезия завершается при достижении адгезивом температуры стеклования. К этому моменту замедляются диффузионные и структурообразующие процессы. Энергия аутогезионной связи достигает наибольших значений. При температурах ниже температуры стеклования аутогезионная связь не образуется.

Наибольшее влияние на аутогезию оказывают такие факторы, как длительность, температура и давление контакта, вязкость и толщина краевого слоя, природа адгезива.

С увеличением длительности контакта аутогезия растет вначале быстро, затем медленнее, стремясь к когезии адгезива. При повышении температуры аутогезия растет по экспоненциальному закону. Высокая температура интенсифицирует диффузионные процессы. Появляются новые связи. При достижении адгезивом вязкотекучего состояния аутогезионная прочность уже не зависит от температуры. В этих условиях быстро происходит полная коалесценция. Прочность контакта отвечает когезии связующих.

Давление в месте контакта влияет на характер упругих и пластических деформаций. Полнота контакта усиливает аутогезию. Однако резкое увеличение давления приводит к незначительной аутогезии или даже к падению ее из-за снижения подвижности молекулярных цепей.

Прочность аутогезионной связи зависит от вязкости адгезива. Низкая вяз-

кость не обеспечивает хорошей аутогезии. Высокая вязкость сдерживает диффузионные процессы. Вязкость при слипании должна находиться в пределах 10-50 Па/с.

Аутогезия изменяется в зависимости от толщины пленки. В тонких слоях аутогезия высокая. В толстых пленках аутогезия невелика, но постоянна. С увеличением молекулярной массы адгезива аутогезия растет.

Контрольные вопросы:

1. *Условия образования периода аутогезионных взаимодействий.*
2. *Перечислить необходимые условия аутогезионных взаимодействий.*
3. *Факторы влияющие на аутогезионные связи в слоях пленки.*
4. *От чего зависит прочность аутогезионной связи.*

2.1.5 Гипотеза механизма образования брикетов со связующим

Формирование структуры брикетов осуществляется в виде отдельных стадий, характерных для любого процесса склеивания. Вначале жидкое связующее наносят на твердые зерна (первый этап). Затем их переводят в вязкотекучее состояние (второй этап).

Соединяют комплексы путем прессования (третий этап). Охлаждением брикетов связующее переводят в твердое состояние (четвертый этап).

В результате растекания и адгезионного закрепления связующего на поверхности твердых частиц образуется клеевая пленка, состоящая, как отмечалось, из граничного (адсорбционного) и объемного слоев.

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.

Преобладание объемного слоя придает структурному каркасу повышенную пластичность, но снижает прочность брикетов.

Высокая вязкость адсорбционного слоя способствует энергичной липкости и высокой механической прочности брикета. Для образования брикетов необходимо приложить усилия, которые создают плотную упаковку отдельных угольных зерен. Давление прессования вызывает контактирование по адсорбционным слоям клеевой пленки и высокое внутреннее трение всей системы. В момент соприкосновения разобренных частиц связь между ними осуществляется исключительно за счет аутогезионных контактов по объемному слою связующего.

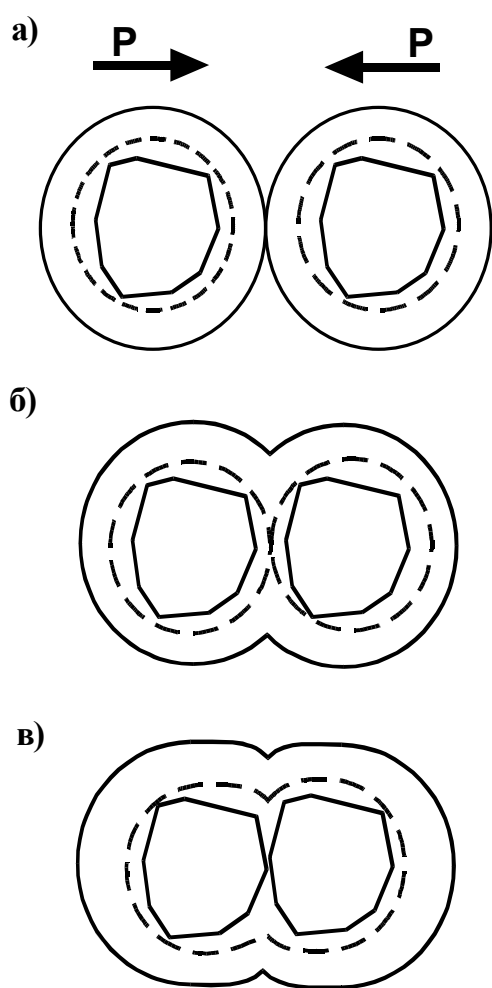


Рис. 2.3 – Стадии уплотнения брикетной шихты при прессовании:
 а - начальная фаза прессования;
 б - контактирование по граничным слоям связующего;
 в - конечная фаза прессования.

Расстояние между твердыми частицами превышает сумму толщин структурированных оболочек связующего. Сила сцепления внутри такой рыхлой и вязкой системы мала (рис. 2.3, а).

С приложением давления начинается процесс аутогезионного упрочения брикетной смеси. Связующее начинает течь и самодиффузия приобретает на-

правленный характер. Усилия прессования обеспечивают начало сближения твердых зерен до соприкосновения адсорбционных слоев связующего (рис. 2.3, б). Объемный слой связующего под действием деформационных напряжений сравнительно легко начинает переходить в места пустот структурного каркаса. Это способствует дополнительному упрочению брикетов. Дальнейшее нарастание давления приводит к сближению твердых зерен на расстояние, меньшее, чем сумма толщин адсорбционных слоев (рис. 2.3, в). В результате аутогезия образовавшейся новой структуры приближается к когезии адсорбционных структурированных оболочек. К этому времени происходит предельное заполнение пустот объемным связующим, играющим роль упругого демпфера. В процессе прессования важным фактором, повышающим общую прочность брикетов, является интенсивное внутреннее трение зерен полезного ископаемого. Усиление контактов за счет трения выступающих граней частиц служит источником дополнительной энергии повышения плотности упаковки зерен в брикете. Оптимальная прочность готовых брикетов достигается в процессе их охлаждения, когда когезия связующих приобретает максимальные значения.

Контрольные вопросы:

- 1. Теоретические основы брикетирования с помощью связующих.*
- 2. Твердые горючие ископаемые как объекты брикетирования.*
- 3. Стадии формирования структуры брикета.*
- 4. Стадии прессования брикетной шихты.*

2.2 Основные факторы, влияющие на брикетирование углей со связующим

2.2.1 Физико-химические свойства субстрата

Гранулометрический состав. Значение гранулометрического состава определяется влиянием суммарной поверхности соприкосновения зерен, числом и величиной пустот в структурном каркасе брикетов, содержанием остро-

угольных зерен, рельефом твердой поверхности и наличием пылевидных частиц.

Теоретический принцип подбор смеси частиц различной крупности заключается в создании структурной композиции, отвечающей наиболее плотной упаковке (рис. 2.4). В такой структуре массовое и объемное соотношение зерен достаточно полно может характеризоваться эмпирическим уравнением

$$P = 100 \cdot \sqrt{d/D},$$

где P - доля зерен (% по массе), проходящих через сито с диаметром отверстий d ; d - диаметр любого зерна смеси от 0 до D ; D - максимальный диаметр зерна в смеси. Максимальная плотность смеси достигается при соотношении $d/D = 1/20$.

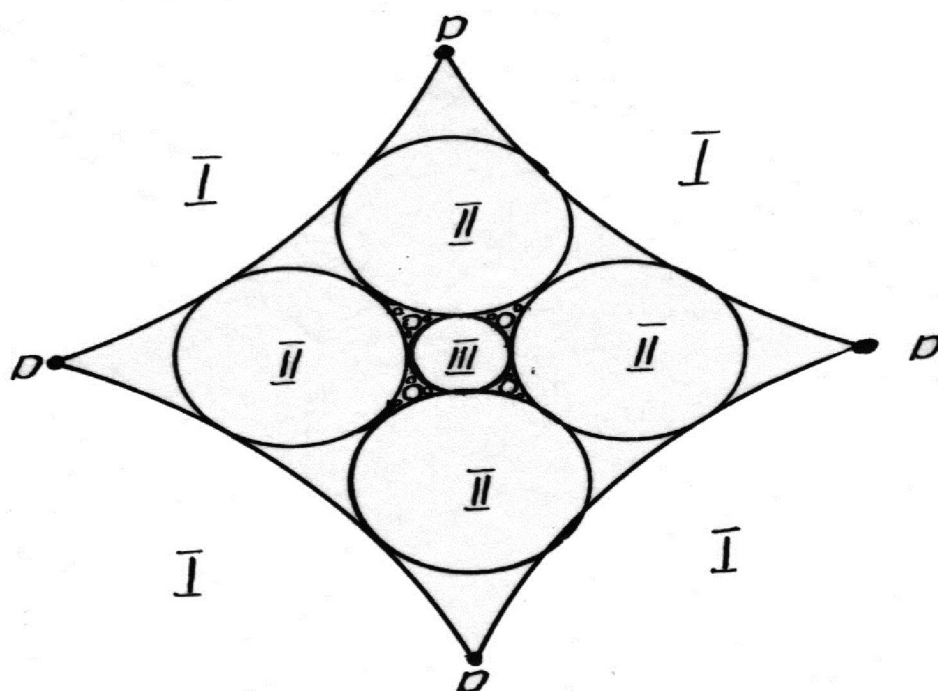


Рис. 2.4 - Схема структуры с наиболее плотной упаковкой зерен диаметром I, II, III и т.д. в смеси

Плотность упаковки тесно связана с размером зерен. Мелкие зерна более ребристы, чем крупные и теплота их смачивания примерно в 4 раза выше, чем у последних. Большое содержание крупных зерен (более 6 мм) отрицательно сказывается на прочности брикетов. При прессовании такие частицы легко расщепляются. Появляются новые поверхности, непокрытые связующим. Наличие пылевидных частиц приводит к повышению удельной поверхности, а,

следовательно, и возрастанию расхода связующих, что способствует уплотнению брикетов в результате активного заполнения пустот.

На плотность упаковки брикетов существенно влияет пористость структуры. Как бы тщательно не были упакованы твердые зерна в брикеты, между ними всегда есть поры. Число и величина пустот влияют на прочностные свойства брикетов. У брикетов из тонкозернистых частиц поры мелкие и они в основном заполнены связующим. Дефектов в виде пустот мало, прочность брикетов велика. Брикеты с преобладанием крупных зерен имеют большое число дефектов. Объемного слоя связующего для заполнения в них пустот не хватает. Поэтому эти брикеты имеют низкую прочность. Для повышения прочности упаковки рекомендуется вводить в брикетную смесь пылевидные частицы, легко проникающие в пустоты.

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

Прочность брикетов тем ниже, чем однородней ситовый состав. Однородная смесь не позволяет обеспечить должную плотность упаковки. Зерна укладываются со значительным числом пустот в каркасе. Давление прессования неравномерно распределяется в объеме системы. Брикеты легко деформируются.

Температура субстрата. Температурные воздействия благоприятно сказываются на адсорбционной активности поверхности твердых частиц. Усиливается колебательный процесс поверхностных молекул, что приводит к отщеплению некоторой их части. Образуются реакционно-способные свободные радикалы, активно взаимодействующие между собой и связующим. В результате нагрева достигается тонко слоевое растекание связующих по твердой поверхности и усиливаются связи в их адсорбционных слоях. Недостаточный нагрев частиц полезного ископаемого приводит к тому, что смачивание связующим твердой поверхности почти не происходит. Адгезионные связи в этом случае образуются лишь за счет незначительных точечных контактов капелек связующего. Для усиления прочности брикетов при слабом нагреве неизбежно

увеличение расхода связующего.

Влажность и природа субстрата. Влага, находящаяся на поверхности минеральных зерен, создает гидратную пленку, толщина которой определяет прочность связи субстрата со связующим. Избыток влаги не позволяет связующим прочно прилипнуть к субстрату. Смачивающая способность уменьшается. Адгезия падает. Механическая прочность брикетов снижается. Находящаяся на поверхности влага при соприкосновении с горячим связующим интенсивно испаряется. Это вызывает охлаждение связующего и ухудшение смачивания. Так, например, увеличение содержания влаги в брикетной смеси с 2,5 до 7,5% снижает степень покрытия зерен угля нефтесвязующим (относительную адгезию) с 75 до 34%.

Для уменьшения вредного влияния поверхностной влаги обычно применяют термическую сушку. Иногда используют химическую модификацию поверхности частиц действием поверхностно-активных (ПАВ) добавок. ПАВ химически взаимодействуют с твердой поверхностью. На ней образуются нерастворимые соединения, способствующие прочному сцеплению субстрата со связующим. Наличие поверхностно-активных группировок и активных «центров» на твердой поверхности благоприятствует адгезионным взаимодействиям. Пористая структура субстрата обуславливает протекание диффузионных процессов, дополняя тем самым общую адгезию между субстратом и адгезивом.

Контрольные вопросы:

- 1. Физико – химические свойства влияющие на брикетирование угля со связующими.*
- 2. Теоретические основы брикетирования с помощью связующих.*
- 3. Твердые горючие ископаемые как объекты брикетирования.*
- 4. Методы оценки качества сырья и брикетов.*
- 5. Что необходимо вводить в брикетную смесь для повышения прочности упаковки.*

6. Как влияет увеличение содержания влаги в брикетной смеси с 2,5 до 7,5% на механическую прочность брикетов.

7. К чему приводит недостаточный нагрев частиц полезного ископаемого.

8. К чему приводит наличие пылевидных частиц.

2.2.2 Свойства связующего

Природа связующих. Ведущая роль в формировании структуры брикетов принадлежит связующим. Основными технологическими свойствами связующих следует считать клеящую способность и когезию.

Клеящая способность связующих прежде всего зависит от их поверхностной активности. Наличие активных функциональных групп - надежный источник возникновения прочных адгезионных связей. Особенно эффективна их роль, когда их доля в связующих достигает 2-3%. Такие группировки образуют индивидуальные ПАВ, способствующие активному смачиванию и адсорбции связующих. Тип химических компонентов и наличие индивидуальных ПАВ оказывают влияние на интенсивность внутримолекулярных связей, определяющих когезию связующих. Наличие в связующих плотных (твердых) компонентов позволяет значительно повысить когезию. В зависимости от их соотношения с другими составляющими достигается различная структура связующих.

Температура связующих. Температура связующих также влияет на процесс структурообразования. Прежде всего она сказывается на дисперсности, смачиваемости, пластичности смеси и механической прочности брикетов.

Тонкослоеое растекание связующих тесно связано с их дисперсностью, которая обуславливает качественное покрытие связующим поверхности брикеттируемых зерен. Распыление связующего зависит от его температуры. Последняя определяет вязкость, влияющую на время распада и размер образующихся капель. Повышение вязкости ведет к образованию крупных капель.

Размер капель имеет важное значение. Крупные капли хотя и создают более толстые клеевые пленки, но имеют в момент контакта большую температуру. Они лучше растекаются по твердой поверхности. Очень мелкие капельки быстро охлаждаются и плохо растекаются по поверхности.

Наилучший эффект распыления достигается тогда, когда вязкость соответствует вязкости ньютоновской жидкости. Этому состоянию отвечает температура предельно разрушенной структуры. Связующее в таком состоянии под действием аэродинамических усилий, создаваемых в сопле форсунки-распылителя, распадается на мельчайшие капли.

Температура связующих способствует улучшению пластичности брикетной смеси в процессе прессования. Чем она пластичней, тем равномерней распределяется давление во всем объеме, эффективней происходит заполнение пустот структурного каркаса брикетов объемным слоем связующего.

Температура связующих влияет на охлаждение готовых брикетов. Максимальная механическая прочность брикетов достигается при температуре, когда связующие приобретают стеклообразное состояние.

Влажность связующих. Влага в связующих отрицательно влияет на структурообразование. Нагретое связующее энергично поглощает воду, особенно если в нем содержится хотя бы незначительное количество водорастворимых веществ. Вода растворяет соли и образует внутри сферические капельки. Обводненное связующее способно прилипать к твердым зернам. При этом первичные контакты могут быть очень прочными, так как поверхность пленки обычно безводна. Постепенно вода диффундирует из глубины слоя к границе раздела фаз. Достигнув твердой поверхности, она вытесняет пленку связующего. Склеенная система разрушается.

Толщина пленки связующих. Очень важную роль в обеспечении эффективного структурообразования брикетов играет толщина клеевой пленки. Уменьшение толщины пленки связующих увеличивает когезию и адгезию. В тонких клеевых пленках достигается максимальный ориентационный эффект, минимальные послеусадочные тангенциальные напряжения, мало дефектов и

трещин. Толщина пленки зависит от химической природы связующих, характера распыления, температуры и интенсивности перемешивания с полезным ископаемым. Наличие в связующих индивидуальных ПАВ создает хорошие условия для тонко слоевого растекания по твердой поверхности.

Увеличение удельной поверхности зерен и их числа благоприятствует утонению клеевой пленки. Этому же способствует мелкодисперсный состав связующего.

Толщина клеевой пленки во многом зависит от вязкости связующих в момент контакта с брикетируемым материалом. Максимальный эффект достигается, когда она близка к вязкости ньютоновской жидкости. Перемешивание создает усиленное трение между клеевыми пленками и твердыми зёрнами, повышая текучесть связующего. Сочетанием энергичного трения и высоких температур при смешении можно обеспечить дополнительное утонение пленки. Толщина пленки зависит от расхода связующего.

Контрольные вопросы:

- 1. Роль связующих в формировании брикетов.*
- 2. Свойства связующих влияющие на эффективное образование брикетов.*
- 3. Перечислить факторы влияющие на толщину клеевой пленки.*
- 4. Что обеспечивают сочетанием энергичного трения и высоких температур.*
- 5. От чего зависит толщина пленки.*

2.2.3 Давление прессования

В процессах структурообразования брикетов велика роль давления прессования. С приложением давления прессования рыхлая брикетная смесь превращается в прочный кусковой продукт - брикет. Деформируемость брикетной смеси в период прессования является функцией пластичности.

Под *пластичностью* понимают способность брикетной смеси изменять

свою форму под влиянием внешних сил без образования трещин и сохранять полученную форму после прекращения действия этих сил. С увеличением температуры смеси пластичность возрастает. Обеспечивается высокая брикетирующая способность смеси при прессовании.

Оценивая процесс уплотнения брикетной смеси аналогично встряхиванию, можно его представить следующим образом. Вначале происходит быстрая усадка. Затем она замедляется и по мере уплотнения смеси приближается к предельной величине. Первыми уплотняются верхние слои, находящиеся ближе к месту давления. Далее начинают уплотняться последующие слои. Давление прессования распространяется волнообразно, уменьшаясь в глубину брикета. Уплотнение прекращается вследствие погашения давления от места возбуждения. Это происходит исключительно по причине усиления трения между частицами в результате нарастания усилий.

Физическая сущность процесса прессования заключается в пластической деформации материала, подвергающегося обработке. Деформация в общем случае состоит в смещении одной частицы материала относительно другой. Пластическая деформация протекает, когда деформирующее усилие заставляет материал течь, подобно жидкости. Для расчета пластической деформации наиболее приемлемо следующее уравнение:

$$\frac{F}{S} - N = \eta \cdot \frac{dv}{dh},$$

где F - деформирующая сила Н; S - поверхность сдвига, на которую она действует, м²; N - предельное напряжение сдвига, Па; η - вязкость, Па·с; dv/dh - градиент скорости движения частиц.

Если скорость роста напряжения велика по сравнению со скоростью остаточной деформации, то деформация отстает от напряжения. Это связано с тем, что между напряжением и внутренним трением не успевает установиться равновесие. В брикетной массе деформация заметно отстает от напряжения. Появляются упругие силы, которые компенсируют разность между напряжением и трением. Эти силы, называемые внутренним напряжением, после снятия внеш-

них усилий вызывают упругое последствие или релаксацию.

После снятия давления происходит неравномерное расширение брикета. Разнородные материалы - субстрат и связующее – по-разному воспринимают упругие деформации и неодинаково восстанавливаются. Возникшие растягивающие усилия противоположны по знаку сдавливающим. Поэтому брикет претерпевает некоторое расширение. Растягивающие усилия действуют постепенно, проявляясь по мере выхода брикета из пресса. Вначале они устремляются только в одном направлении, выравниваясь в процессе выдавливания брикета из ячейки. Такое распределение усилий отрицательно влияет на прочность. Особенно, когда прессование идет при высоких давлениях. Вредное действие упругих деформаций приводит к возникновению в клеевых пленках дополнительных внутренних напряжений, ослабляющих прочность брикетов.

Контрольные вопросы:

1. *Функция пластичности.*
2. *Процесс уплотнения брикетной смеси.*
3. *Сущность процесса прессования.*
4. *Уравнение расчета пластической деформации в процессе брикетирования.*

2.2.4 Охлаждение брикетов

Структурная прочность брикетов окончательно приобретает в процессе охлаждения. Выходящий из пресса брикет имеет температуру, близкую к температуре размягчения связующего.

Снижение температуры достигается пребыванием брикетов в атмосфере подаваемого принудительно или естественно воздуха. В этот период связующие восстанавливают свою структуру до значений максимальной когезии.

Интенсивность охлаждения брикетов пропорциональна отношению объема к поверхности охлаждаемых брикетов. Чем выше это отношение, тем медленнее происходит охлаждение. Размеры брикетов и их число, приходящееся на единицу площади охладительного устройства, определяют конечный результат

охлаждения.

На охлаждение влияют влажность и расход связующих на брикеты. При высокой влажности в процессе охлаждения происходит интенсивное испарение. Возникающие трещины в брикетах вызывают падение их прочности.

В зависимости от места сосредоточения влаги трещины могут быть поверхностные или внутренние. Последние очень пагубно сказываются на прочности брикетов.

Скорость охлаждения находится в прямой зависимости от расхода связующего. Если связующего в брикете мало, то охлаждение идет быстро.

Температура падает почти с одинаковой скоростью во всем объеме брикета. Если же содержание связующего высокое, температура снижается медленно и неравномерно.

Поверхностные слои брикета охлаждаются сравнительно быстро, а внутренние - длительное время.

Контрольные вопросы:

1. *Структура снижения температуры брикетов.*
2. *Факторы влияющие на охлаждение брикетов.*
3. *Скорость охлаждения.*

2.3 Технология брикетирования углей со связующим

Брикетирование как обособленный технологический процесс окускования полезных ископаемых складывается из следующих производственных операций (рис.2.5):

1) подготовка сырья к прессованию: дробление, грохочение, измельчение и сушка; препарирование связующих веществ; дозировка компонентов брикетной шихты, их смещение, нагрев и охлаждение брикетной шихты перед прессованием;

2) прессование брикетной шихты с приложением требуемых усилий, определяемых в зависимости от физико-химических свойств, петрографического

и минерального состава брикетированного материала;

3) обработка «сырых» брикетов с целью быстрого их затвердевания (охлаждение, пропарка, карбонизация, сушка, восстановительный обжиг и др.);

4) складирование и погрузка готовых брикетов.

Организация технологии брикетирования каменных углей и антрацитов зависит от требований потребителей к брикетам. Наиболее целесообразно для брикетирования использовать обогащенную угольную мелочь и антрацитовый штыб.

Качественные каменноугольные (антрацитовые) брикеты должны соответствовать следующим технологическим показателям: масса 75-85 г; механическая прочность на сбрасывание - не ниже 85%, содержание мелочи (куски менее 25 мм) - не более 10%, влагопоглощение - не выше 4%, выход летучих веществ - не более 10%, теплота сгорания – 34000 - 35000 кДж/кг. Зольность брикетов устанавливается в зависимости от качества поступающего сырья и условий их переработки.

Контрольные вопросы:

1. *Перечислить производственные операции брикетирования.*
2. *Требования потребителей к брикетам.*
3. *Качественные каменноугольные (антрацитовые) брикеты должны соответствовать следующим технологическим показателям, перечислить.*
4. *В зависимости от каких показателей устанавливается зольность брикетов.*

2.3.1 Подготовка углей

Крупность угля определяет уплотняемость брикетов. Правильный выбор гранулометрического состава способствует высокой прочности брикетов при минимальном расходе связующего. Оптимальный ситовый состав для углей крупностью 0-6 мм должен отвечать следующему соотношению классов: более 6 мм 2-3 %, 3-6 мм 28-30 %, 1-3 мм 30-32 % и 0-1 мм 38-42 %. Для углей крупностью 0-3 мм содержание класса более 3 мм должно составлять 5-10 %, 1-

3 мм 45-50 % и 0-1 мм 40-45 %. Большое содержание угольных зерен крупнее 6 мм вызывает образование крупных пор в структуре брикета и приводит к увеличению расхода связующего.

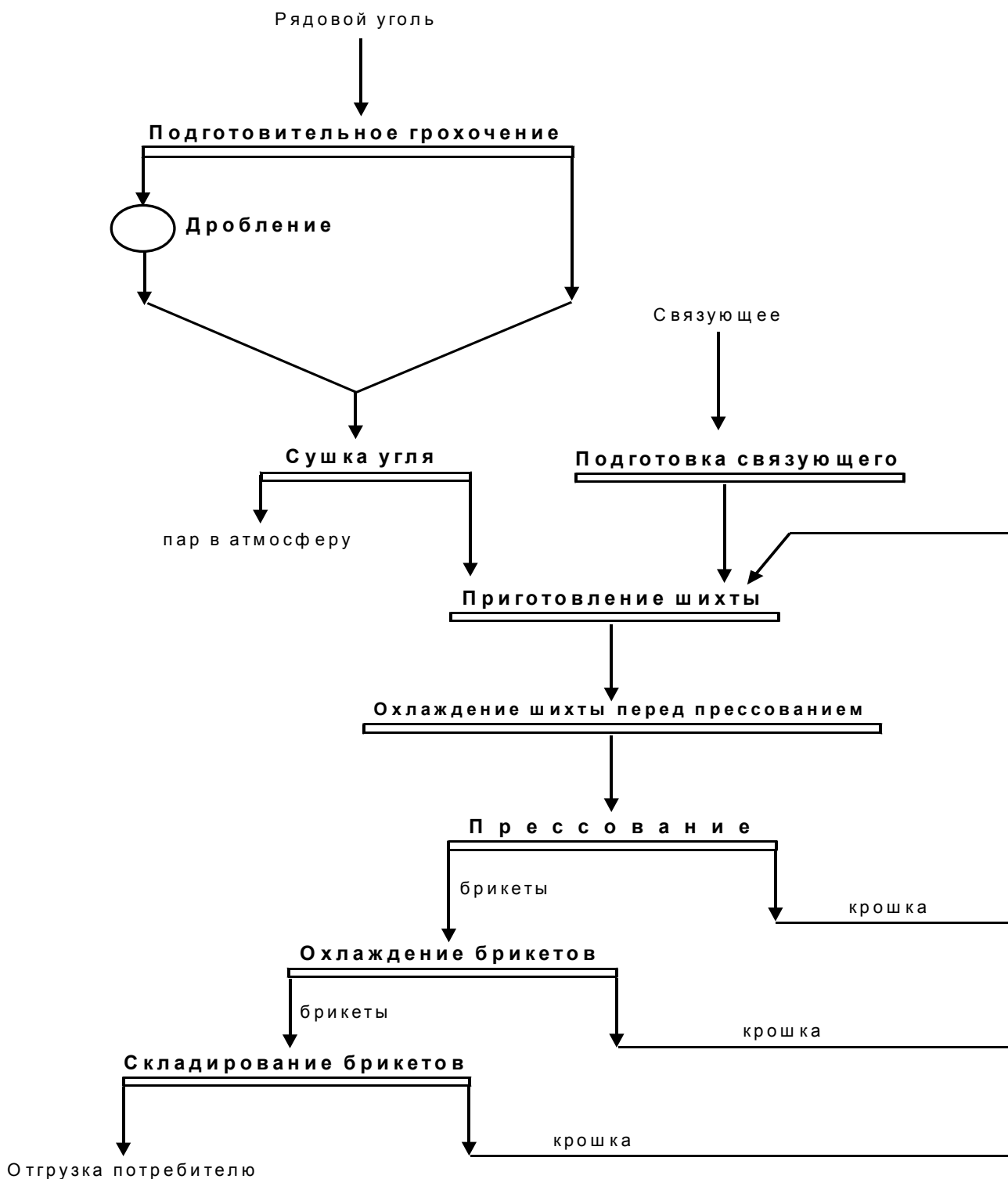


Рис. 2.5 – Принципиальная технологическая схема брикетирования углей со связующим

Для подготовки угля его классифицируют на грохотах с последующим дроблением надрешетного продукта. В качестве классифицирующих аппаратов используют вибрационные и резонансные грохоты. В случае разделения влажных углей по крупности 3 мм грохоты оборудуют ситами с электрообогревом. При рассортировке такой материал следует смешивать с сухим углем. Возможна его предварительная подсушка, или вдувание в дробилку горячих газов. Для дробления угля используют, как правило, быстроходные молотковые дробилки.

Обезвоживание и нагрев угля являются обязательным технологическим этапом его подготовки. Он осуществляется с помощью термической сушки. Сушка позволяет удалить с поверхности влажного угля гидратную пленку и нагреть уголь, улучшить смачиваемость его связующим, обеспечить прочную внутреннюю связь угольных частиц в брикете. Оптимальным содержанием влаги после сушки считается 2-3 %. Остаточная влага, концентрируясь в порах и трещинах угля, позволяет предотвратить диффузионное проникновение в них низковязкого связующего. Она не оказывает вредного влияния на процесс сцепления угля и связующего. В результате сушки уголь одновременно нагревается до 60-80⁰С. Нагрев благоприятствует тонкослоевому распределению связующего на угольной поверхности.

Сушка угля осуществляется в трубах-сушилках, барабанных сушилках или сушилках «кипящего слоя». Как показала практика, для брикетирования каменных углей и антрацитов наиболее эффективна труба-сушилка. Она отличается высокой производительностью по испаренной влаге, интенсивностью сушки и быстрым нагревом угля. Одновременно труба-сушилка может обеспечивать пневмотранспорт сухого материала к месту смешения его со связующим.

Это сохраняет высокую температуру угля, исключает возможность проникновения в производственные помещения пыли. В трубе-сушилке осуществляется контрольная сепарация по верхнему пределу крупности, исключающая присутствие в угле избыточных зерен. В процессе сушки уголь нагревается до 60-80⁰С, а содержание влаги в нем снижается до 1-1,5 %.

Контрольные вопросы:

1. *Что определяет уплотняемость брикетов.*
2. *Требования к оптимальному ситовому составу для углей.*
3. *Проанализировать технологическую схему брикетирования углей со связующим.*
4. *Обезвоживание и нагрев угля.*
5. *Термическая сушка, ее свойства.*

2.3.2 Подготовка связующих

Для брикетирования каменных углей и антрацитов применяют органические связующие в жидком и твердом виде. Наибольшее распространение получили нефтесвязующие, употребляемые в жидком виде. Реже используется твердое связующее - каменноугольный пек. Жидкая сульфит-спиртовая барда, твердые глины и цемент используются сравнительно мало, в основном как модифицирующие добавки. Связующее в жидком виде имеет ряд преимуществ по сравнению с твердым адгезивом. Оно легко диспергируется, образуя тонкослойное пленочное покрытие на угольной поверхности. При этом снижается расход связующего и улучшается подготовка брикетной смеси.

Для подготовки жидких связующих, в частности нефтесвязующих, возможны два технологических варианта. В первом случае используется схема подготовки связующего, получаемого на нефтеперерабатывающем заводе. Во втором - схема, включающая приготовление нефтесвязующего непосредственно на брикетной фабрике.

На действующих брикетных фабриках более распространена схема первого варианта. По этой схеме на брикетную фабрику с нефтеперерабатывающих заводов прибывает кондиционное связующее в железнодорожных полувагонах или цистернах.

Полувагоны представляют собой четырехосные железнодорожные платформы, на которых установлены четыре самопрокидывающихся бункера вме-

стимостью 10 т каждый. Для слива нефтесвязующего они оборудованы паровой рубашкой (двойными стенками).

Поступившее на брикетную фабрику нефтесвязующее (рис. 2.6) выгружается из железнодорожных емкостей 6 в специальные хранилища. Вместимость резервуаров составляет не менее 15-20 суточного запаса связующих. Хранилища выполняются в виде отдельных отсеков 5. Каждый отсек представляет собой железобетонную емкость (иногда металлическую) вместимостью от 500 до 1000 м³ с шиферным навесом, предотвращающим попадание атмосферных осадков.

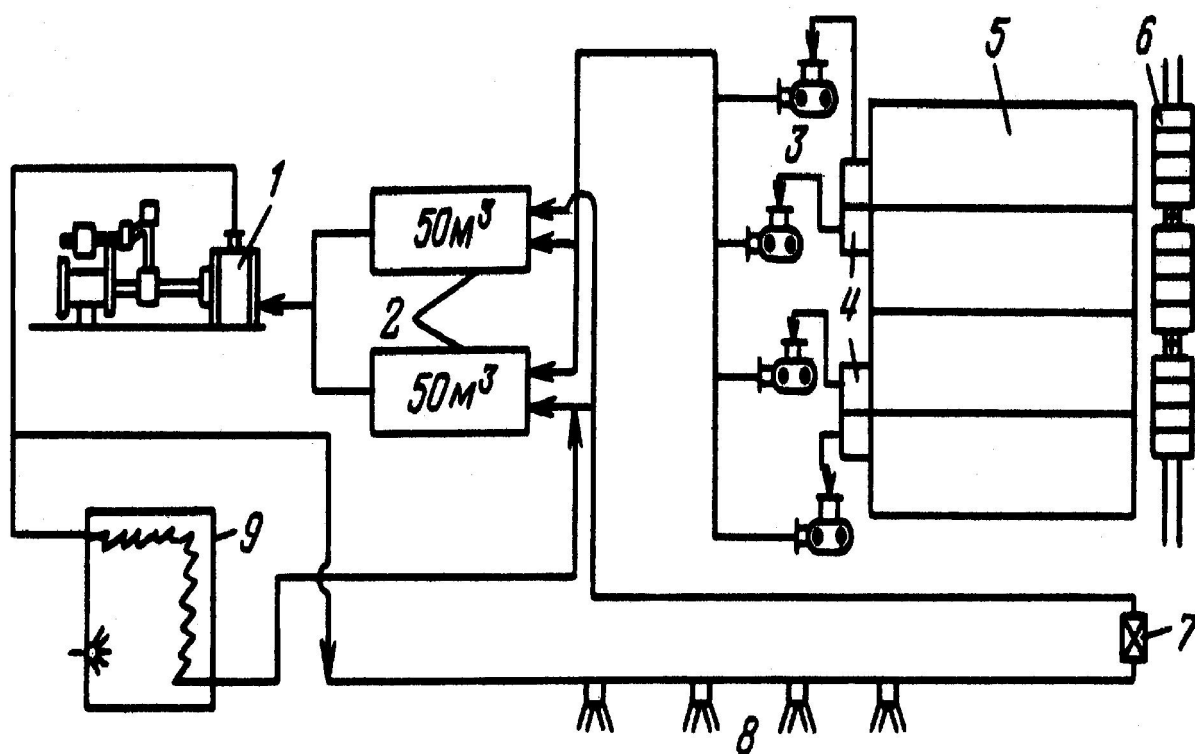


Рис. 2.6 – Схема подготовки жидких связующих

В отсеке установлен донный обогрев с паровыми трубчатыми змеевиками, обеспечивающий нагрев связующего до 100-110⁰С. Дополнительно отсек оборудуется барботажной паровой системой, взмучивающей скапливающиеся на дне осадки. В торце отсека имеется небольшой приемный сборник 4 с прилегающими к нему шестеренчатыми насосами 3. Разогретое связующее, поступившее в приемный сборник, насосом подается в расходную емкость 2, из

нее паровым высоконапорным насосом 1 в трубчатую печь 9, где связующее нагревается до температуры 220-230⁰С. Из трубчатой печи связующее возвращается в расходную емкость, где смешивается с «холодным» связующим, поступающим из хранилища. Такой технологический прием позволяет экономить тепло трубчатых печей, быстро обезвоживать «холодное» связующее и снижать его температуру до оптимальных рабочих значений (180-200⁰С).

Связующее, имеющее рабочую температуру 180-200⁰С, из расходной емкости высоконапорным паровым насосом подается по кольцевому трубопроводу к форсункам-дозаторам 8 для смешения с углем. Избыток связующего возвращается вновь в расходную емкость. Для создания необходимого подпора связующего перед форсунками на исходящей ветви кольцевого трубопровода устанавливается регулировочная задвижка 7.

Второй вариант схемы подготовки жидких связующих - получение их непосредственно на брикетных фабриках. Он имеет ряд преимуществ. Упрощается технология слива и разогрева поступающего сырья. Улучшается качество связующего за счет сокращения его многократных нагревов и перекачек. Удешевляется стоимость связующего.

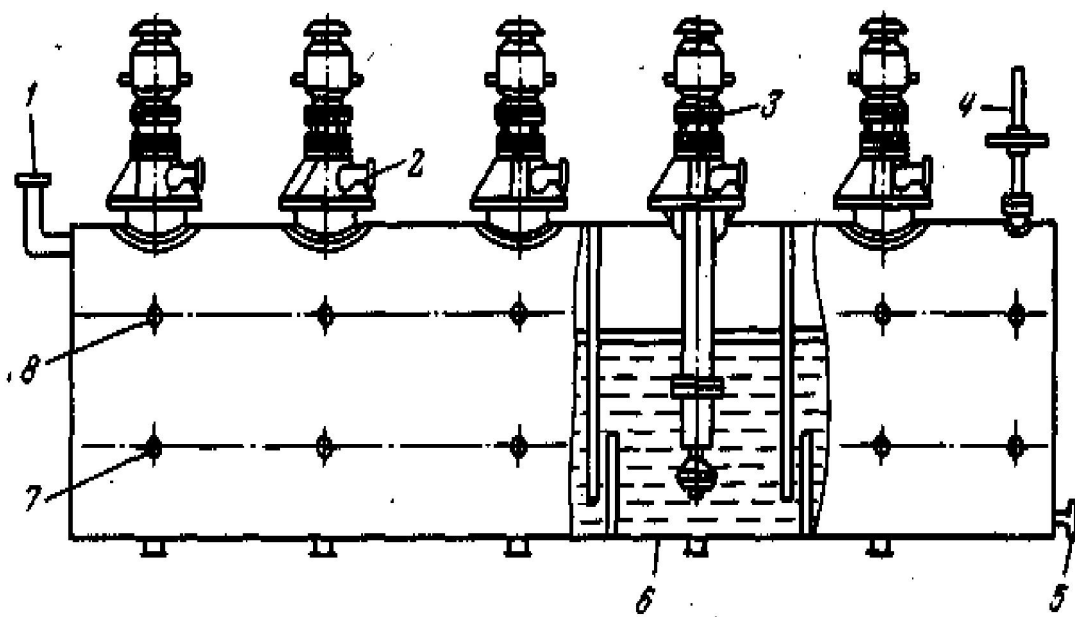


Рис. 2.7 – Реактор бескомпрессорного метода получения нефтесвязующих

Наиболее простым и дешевым является бескомпрессорный метод. Этот метод основан на эффекте всасывания воздуха путем диспергирования его центробежным импеллером в среду окисляемого сырья. Технологическая схема приема сырья аналогична схеме приема готового связующего, описанной выше. Подготовленное к окислению в нефтесвязующее сырье поступает в реактор. Реактор (рис. 2.7) представляет собой горизонтальный пятисекционный аппарат. Он оборудован импеллерами для диспергирования воздуха в жидкой фазе. Пять рабочих секций по своим размерам и технологическому исполнению идентичны. Последняя секция является буферной емкостью перед откачкой готового связующего. Секции отделены друг от друга гидравлическими затворами. В каждой рабочей секции 6 устанавливается диспергатор с электроприводом 3. Частота вращения диспергатора 750 мин^{-1} . В зону окисления воздух поступает непосредственно через диспергатор с использованием эжектора 2. Подача сырья осуществляется через патрубок 1, выдача - через патрубок 5. Для снятия избыточного тепла экзотермической реакции в каждую секцию подается вода. Уровень жидкости в реакторе регулируется с помощью шибера 4 в последней секции. В реакторе предусмотрены специальные устройства для термопар 7 и отбора проб 8.

Процесс окисления происходит следующим образом. Диспергатор, вращаясь, засасывает воздух в фазу горячего сырья. Создаются условия тесного контакта с жидкой средой, ускоряющие процесс окисления за счет максимального использования кислорода воздуха. В процессе окисления происходит быстрый подъем температуры в секциях до $300-320^{\circ}\text{C}$. Для поддержания постоянной температуры в реактор подается вода. Пары воды и газа отделяются в сепараторе от конденсата нефтепродуктов (отдува), который возвращается для доокисления в пятую секцию реактора. Отработанные газы сжигаются. Уровень регулируется шибером, установленным после последней рабочей секции.

Контрольные вопросы:

1. *Применение органических связующих в жидком и твердом виде.*

2. *Схема подготовки связующего, получаемого на нефтеперерабатывающем заводе.*
3. *Схема подготовки жидких связующих.*
4. *Преимущества схемы подготовки жидких связующих - получение их непосредственно на брикетных фабриках.*
5. *Реактор бескомпрессорного метода получения нефтесвязующих.*

2.3.3 Приготовление брикетной смеси

Подготовка брикетной смеси - сложный и ответственный этап в технологическом комплексе брикетирования угля. Углесвязующие смеси обычно подготавливают в специальных смесительных аппаратах, которые позволяют равномерно распределять связующее в объеме угольной массы.

Наиболее распространенный аппарат - вертикальный паровой смеситель (малаксер). Он пригоден для подготовки брикетной смеси с жидкими и твердыми связующими. Для лучшего эффекта усреднения перед малаксером устанавливается двухвальный винтовой смеситель. В нем осуществляется смешение компонентов во взвешенном состоянии, что особенно целесообразно в случае применения жидких связующих. В малаксерах материал проталкивается медленно вращающимися лопастями в горизонтальном и вертикальном направлениях. В результате связующее распределяется в объеме всей смеси за счет трения между зернами и механического вдавливания от воздействия вращающихся лопастей. Для улучшения усреднения и равномерного тонкослоевого распределения связующего в пространство между лопастями по высоте и окружности малаксера подается перегретый пар с температурой до 300⁰С. Подготовка брикетной смеси в малаксере длится около 10 мин. За это время смесь не только дополнительно нагревается, но и увлажняется на 1-2%.

Технологический узел подготовки брикетной смеси в малаксере показан на рис. 2.8. Уголь после сушки из бункера 1 питателем - дозатором 2 тонким слоем подается в камеру смешения 3. В нее с помощью форсунок-распылителей 4 подается дозированное связующее. Каскадное тонкослоевое поступление угля в камеру смешения позволяет максимально напылить связующее на угольную поверхность. Затем смесь поступает в малаксер 11, оборудованный семью рядами серповидных лопастей 7, закрепленных на вертикальном валу 5. Вал малаксера приводится во вращение от привода 10. По высоте малаксера в

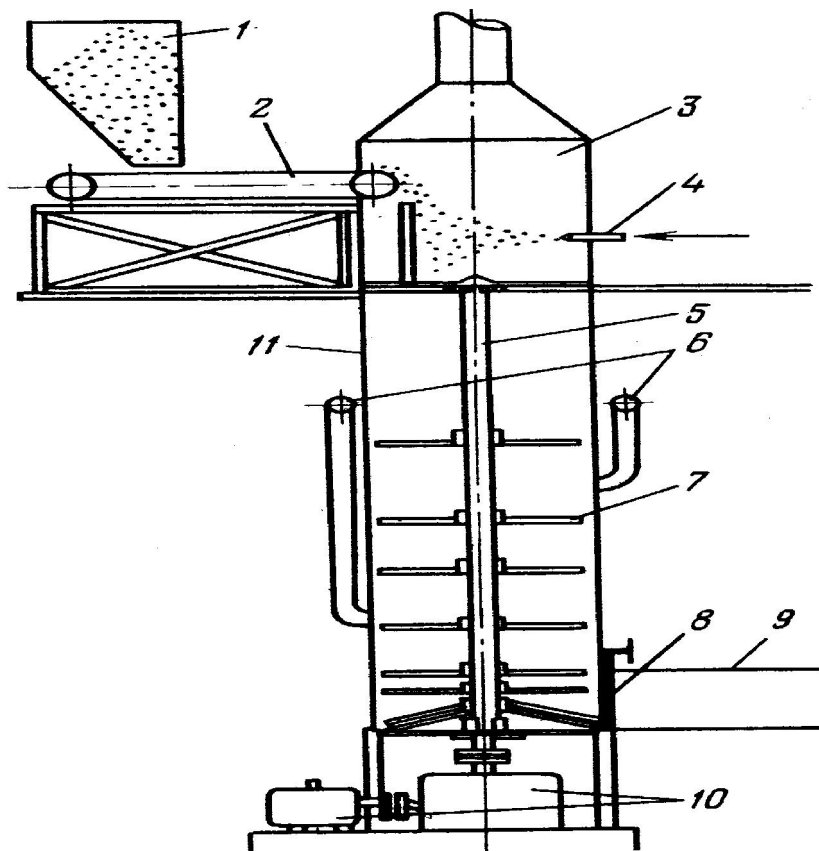


Рис. 2.8- Схема малаксера

пространство между лопастями по трубам 6 подается перегретый пар. Внизу малаксера установлен регулировочный затвор 8. Он обеспечивает равномерную выдачу брикетной смеси на винтовой конвейер 9 для ее охлаждения перед прессованием. Винтовой конвейер представляет собой одно- двухрядную спираль длиной 5-6 м. Он оборудуется мощной вытяжной вентиляцией, позволяющей охладить брикетную смесь до температуры на 5-10⁰С ниже температуры размягчения связующего.

Контрольные вопросы:

1. Этапы подготовка брикетной смеси.
2. Назначение и принцип работы вертикального парового смесителя (малаксер).
3. Объяснить назначение двухвального винтового смесителя.

2.3.4 Прессование

Для уплотнения брикетной смеси обычно применяют вальцовые прессы, развивающие давление прессования 20-50 МПа. *Вальцовый пресс* представляет собой аппарат, состоящий из питателя-загрузчика (распределительная чаша), валков с бандажными кольцами и станины с размещенной на ней системой гидравлического сжатия валков.

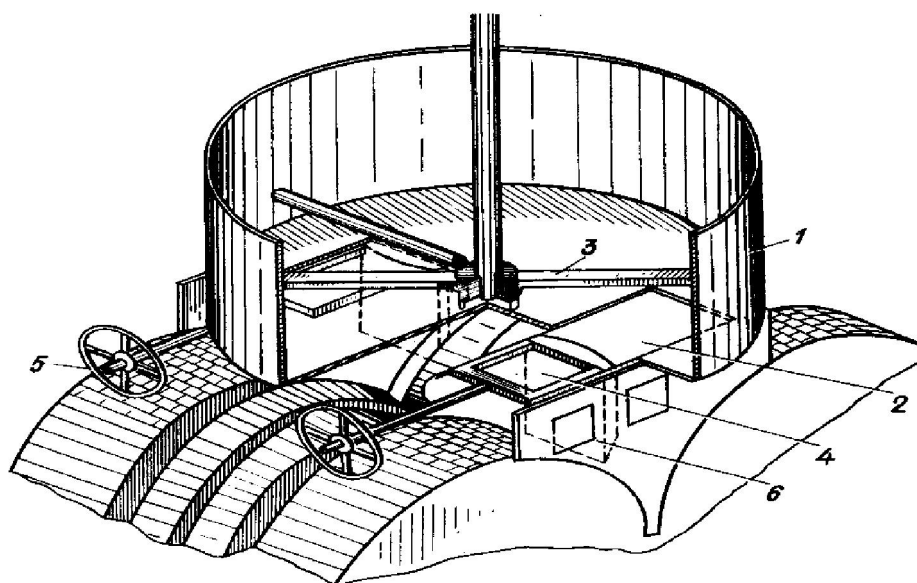


Рис. 2.9 – Распределительная чаша вальцового прессы

Распределительная чаша (рис. 2.9) служит для равномерной загрузки валков прессы брикетной смесью. Она представляет собой цилиндр 1 из листовой стали вместимостью 0,5-1 м³. В днище чаши над каждой парой валков имеются отверстия 4. Через них брикетная смесь поступает в камеру загрузки перед прессованием. Внутри чаши с частотой 26-30 мин⁻¹ вращается четырехлопастная мешалка 3, которая распределяет брикетную смесь по отверстиям 4.

Степень открытия загрузочных отверстий в чаше регулируется задвижкой с уплотняющей доской 2. Она перемещается в направляющих с помощью металлических тяг, концы которых проходят через переднюю стенку вальцового пресса. Продвижение тяг осуществляется вращением регулировочных маховичков 5. Для регулирования подачи брикетной смеси по ширине прессующих валков под чашей в камере загрузки установлены планки-отражатели 6. Их перемещение осуществляется с помощью винтов.

Для брикетирования руд (реже угля) брикетную смесь подают на валки с помощью питателей-уплотнителей различных конструкций. *Вертикальный шнековый подпрессовщик* при вращении уплотняет и проталкивает брикетную смесь к месту загрузки валков.

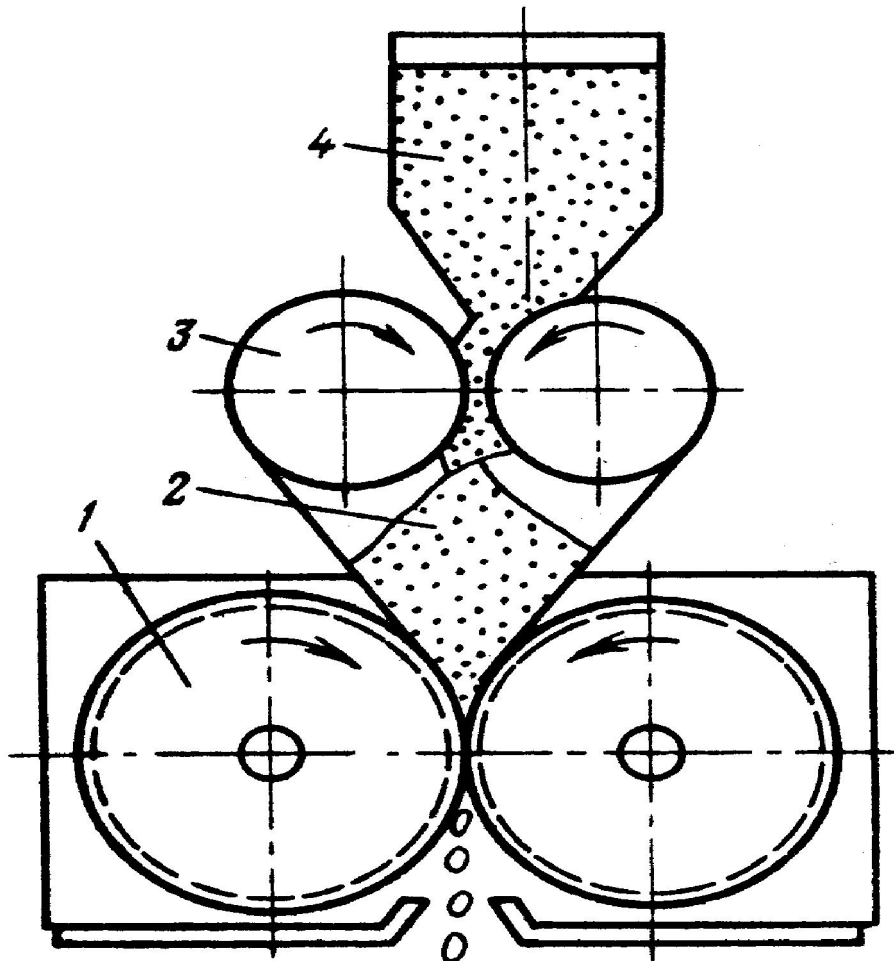


Рис. 2.10 – Валковый уплотнитель вальцового пресса

Хорошие результаты последующего прессования достигаются в случае применения *валковых уплотнителей* (рис. 2.10). Готовая брикетная смесь из за-

грузочного бункера 4 поступает в пространство двух вращающихся друг против друга гладких валков 3. Подпрессованный материал аккумулируется в бункере 2, из которого он выгружается под действием сил тяжести и трения вращающихся валков 1.

Вальцовый пресс (рис. 2.11) представляет собой сварную станину 10, выполненную из толстолистовой стали. В ее боковых стенках расположены четыре корпуса подшипников 5, на которых покоятся валки 3. Валок состоит из вала 6, двух пустотелых валов-барабанов 7, посаженных на вал 6 и шестерни. На пустотелые валы-барабаны 7 одеваются бандажные кольца с выфрезерованными в них ячейками. Форма ячейки соответствует форме полубрикета. Привод 9 вращает валки 3. Бункер 4 для загрузки материала расположен над валками 3. Бункер 2 для сбора подпрессованного материала расположен под валками 3. Привод 11 обеспечивает работу механизма 10.

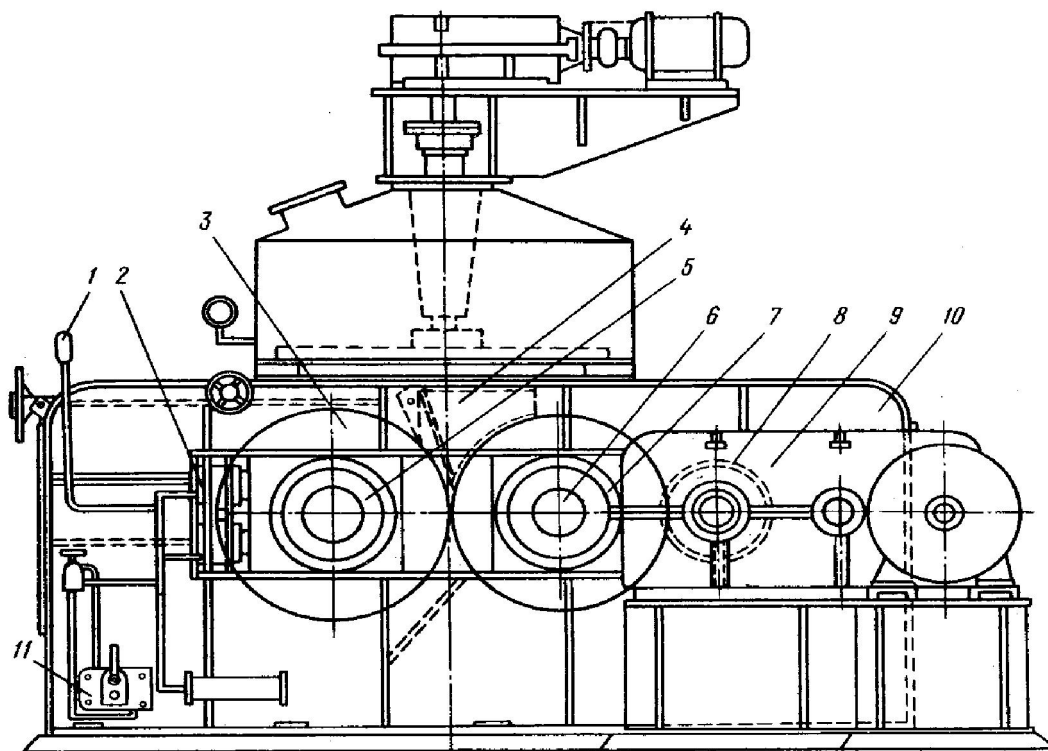


Рис. 2.11 – Общий вид вальцового пресса

Бандажные кольца изготавливаются в виде цельного пакета или отдельных сегментов из высококачественных сталей с термической обработкой после фрезерования ячеек. Валки 3 получают вращение от привода 9. Вращаясь, они захватывают из загрузочной камеры 4 брикетную смесь. В пространстве между ячейками бандажных колец брикетная смесь спрессовывается. Когда ячейки

расходятся, из них выпадает брикет. Для поддержания необходимого давления прессования валы 6 сжимаются с помощью отдельной гидравлической системы 2. Контроль давления прессования ведется по манометру 1. Для регулировки степени сжатия валков 3 используется ручной (иногда автоматический) насос повышения давления 11 гидравлической системы 2.

В случае попадания в межвалковое пространство посторонних предметов или поступления высоковязкого малопластичного материала пресс автоматически останавливается. Для этого на приводе валков устанавливается муфта отбора мощности 8. В зависимости от производительности пресса на валу 6 может закрепляться один или два пустотелых вала-барабана 7 с бандажными кольцами. В первом случае шестерня закрепляется на валу 6 со стороны привода пресса; во втором - между валками. Шестерни устанавливаются таким образом, чтобы зубья одной были смещены по отношению к зубьям другой на полшага. Это обеспечивает плавное вращение валков. Для равномерного распределения давления на валы 6 и их опорные шарикоподшипники ячейки на бандажных кольцах располагают в шахматном порядке. Вальцовые прессы оборудованы автоматической смазкой всех трущихся поверхностей. Среди большого разнообразия вальцовых прессов имеются агрегаты производительностью до 100 т/ч.

Техническая характеристика вальцового пресса

Частота вращения валков, мин ⁻¹	8-12
Удельное давление прессования, МПа	20-70
Усилия, развиваемые прессом, МН	0,8
Допустимый зазор между валками, мм	1
Размеры прессующих валков, мм:	
диаметр.....	1000
ширина.....	500
Производительность, т/ч	50
Мощность электродвигателя, кВт	200
Габаритные размеры, мм:	
Длина.....	9000
Ширина.....	5000
высота.....	7500
Масса, т.....	54

В зоне обжатия энергия вальцового пресса расходуется на преодоление трения между брикетной смесью и стенками пресс-форм, угольными зернами и на их уплотнение. Дополнительные сопротивления возникают за счет трения осей валков в подшипниках и зубчатой передаче. В зоне упругого расширения энергия затрачивается на преодоление внешнего трения, возникающего при выталкивании брикетов из ячеек. Эта энергия частично возвращается, способствуя уравниванию сопротивления в зоне обжатия и вращению валков. В целом, энергия упругого расширения невелика. Длительность образования брикетов составляет в среднем 0,4-0,5 с, из которых на обжатие приходится 0,3-0,4 с, на упругое расширение около 0,1 с.

Контрольные вопросы:

1. *Назначение и принцип работы вальцового пресса.*
2. *Назначение и принцип работы распределительной чаши вальцового пресса.*
3. *Принцип работы вертикального шнекового подпрессовщика.*
4. *Причины возникновения дополнительного сопротивления.*
5. *Длительность образования брикетов.*

2.3.5 Охлаждение и погрузка брикетов

Охлаждение и погрузка готовых брикетов - заключительные операции технологического комплекса брикетирования.

Охлаждение - это операция, обеспечивающая требуемую механическую прочность у готовых брикетов. В процессе охлаждения повышается вязкость связующего за счет снижения температуры брикетов от 60-65⁰С до 20-25⁰С. Для охлаждения брикетов требуется определенное время пребывания их в атмосфере принудительно подаваемого или естественно омываемого воздуха. Интенсивность охлаждения пропорциональна отношению объема брикета к его поверхности. Крупные брикеты охлаждаются медленней, чем мелкие. Ухудшается охлаждение при многослойной укладке брикетов на ленте конвейера. Оп-

тимальной считается загрузка брикетов в один - два слоя.

Охлаждение брикетов идет тем быстрее, чем ниже расход связующего. При малых (6-7%) расходах связующего достигается равномерное снижение температуры во всем объеме брикета. При более высоких расходах температура в брикете понижается медленно и неравномерно. Поверхностные слои охлаждаются значительно быстрее, чем глубинные, что вызывает их деформацию и слипание.

Брикеты с повышенным содержанием связующего требуют применения интенсивных мер охлаждения: обдув воздухом, орошение водой и др. Интенсивность охлаждения зависит от типа структуры связующих. Так, процесс твердения каменноугольного пека проходит в 2,5-3 раза быстрее, чем нефтесвязующего. Для охлаждения брикетов с нефтесвязующим требуются удлиненные тракты конвейеров с сетчатой металлической лентой вместо прорезиненной. Одновременно применяется интенсивный обдув воздухом и орошение водой.

Охлаждение брикетов осуществляется на специальных конвейерах, отличающихся от обычных своей конструкцией, длиной и шириной. Скорость движения такого конвейера не превышает 0,1-0,2 м/с.

Конструкция охладительного конвейера выполняется такой, чтобы брикеты располагались на ленте горизонтальным слоем. Для этого приводной барабан делается диаметром не менее 1500 мм, ширина ленты 1800-2200 мм, а длина в зависимости от производительности от 50 до 300 м. В конвейерах охлаждения используют обе ветви. Брикеты вначале загружаются на верхнюю ветвь и движутся по ней до приводного барабана. Затем, сбрасываются по желобам на нижнюю ветвь и направляются в противоположную сторону.

В большинстве случаев естественное охлаждение оказывается недостаточным. Применяется принудительный обдув брикетов воздухом. Для этого к нижним и верхним ветвям ленты конвейера подводят воздухопроводы от вентиляторов. Иногда на верхней ветви конвейера устанавливается ряд форсунок для орошения брикетов распыленной водой. Форсунки закрепляются в несколько рядов по длине и ширине ленты так, чтобы факел распыления охватывал всю

поверхность охлаждаемых брикетов. Благодаря этому водяная пленка с поверхности брикетов мгновенно испаряется, не вызывая влагопоглощения. Для повышения эффекта охлаждения брикеты обдувают горячим воздухом, вызывая быстрое испарение влаги и отдачу тепла. Расход воды составляет около 100 л/ч, скорость обдуваемого воздуха 15- 25 м/с, время обдува 30-40 с.

Известен метод орошения брикетов водным раствором сульфит-спиртовой барды. Пленка барды после высыхания закрывает поры и трещины в брикетах, тем самым повышая их прочность и препятствуя слипанию. Брикеты приобретают гладкую блестящую поверхность, уменьшается пыление при погрузке.

В большинстве случаев брикеты после конвейера охлаждения поступают в рампу (рис. 2.12). Рампа является одновременно охладителем и аккумулятором брикетов. Она сооружается в одном комплексе с погрузочным пунктом брикетов. Брикеты конвейером 1 подаются на загрузочную тележку 2. С тележки стрелой 4, перемещаемой в вертикальном направлении лебедкой 3, брикеты распределяются по длине рампы. Наклонное днище рампы представляет собой колосниковую решетку 12. Через эту решетку происходит естественная вентиляция воздуха, а в жаркое время года - принудительная. Из рампы охлажденные брикеты по наклонной площадке 13 дисковым выталкивателем 6 подаются на конвейер 5. Далее стрелой 10 они загружаются в железнодорожные вагоны. Стрела 10 перемещается в вертикальном направлении с помощью лебедки 11. Бой брикетов отделяется перед погрузкой на грохоте 9 и возвращается в процесс конвейерами 7, 8.

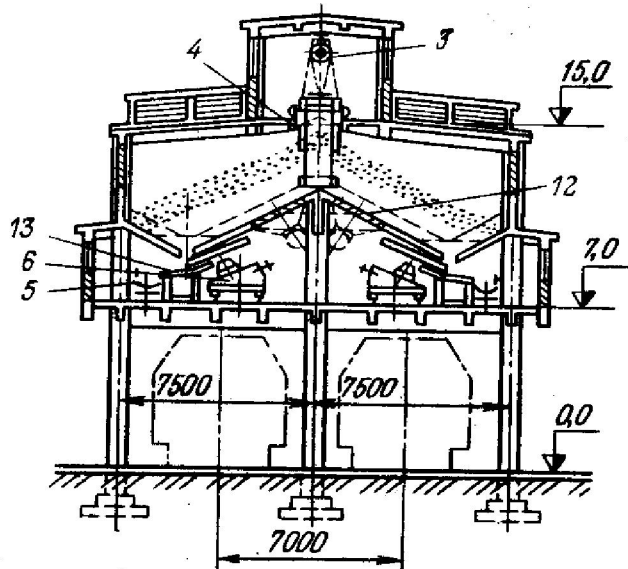
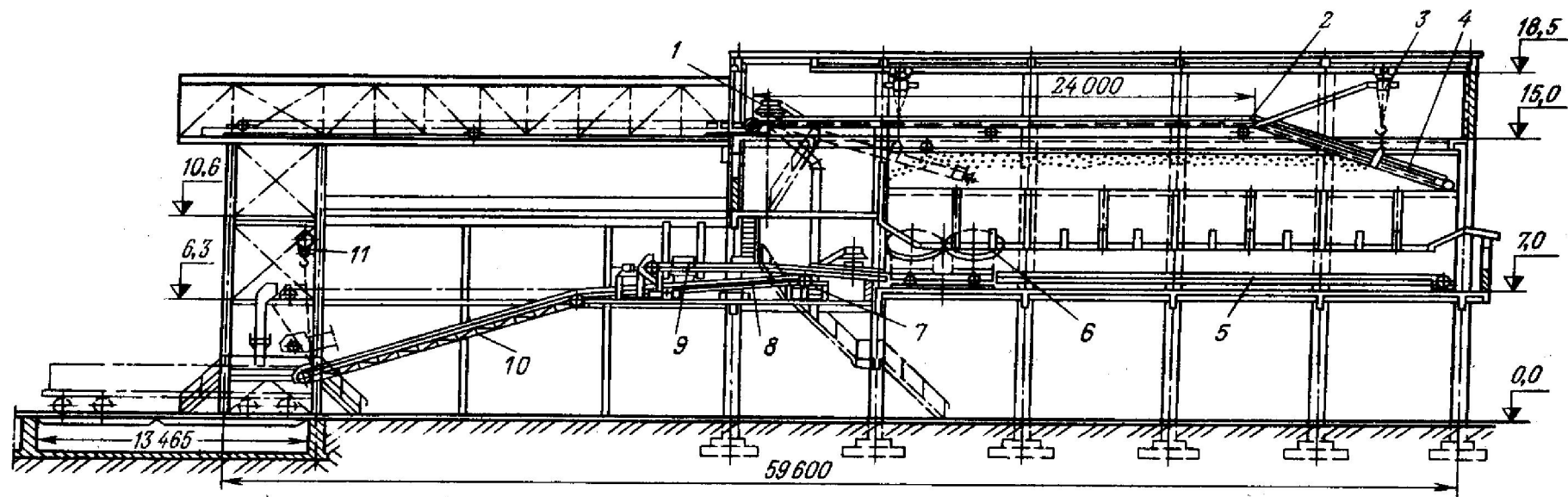


Рис. 2.12 – Рампа для охлаждения и хранения брикетов

Контрольные вопросы:

- 1. Технология брикетирования углей и антрацитов со связующим.*
- 2. Твердые горючие ископаемые как объекты брикетирования.*
- 3. Оборудование для прессования каменного угля и антрацитов.*
- 4. Оборудование для подготовки и дозирования компонентов брикетной шихты.*
- 5. Оборудование для охлаждения, погрузки и складирования брикетов.*
- 6. Технологические операции окускования.*
- 7. Технологические этапы подготовки угля перед брикетированием.*
- 8. Применение органических связующих и схемы их подготовки.*
- 9. Приготовление брикетной смеси.*

2.4 Теоретические основы брикетирования бурых углей без связующих

2.4.1 Гипотезы образования буроугольных брикетов

Существует несколько гипотез механизма образования брикетов из бурых углей при их брикетировании без связующих веществ.

Битумная гипотеза. Битумная гипотеза объясняет образование брикета склеивающим действием битумов, содержащихся в угле.

Битумами называются вещества, извлекаемые из угля органическими растворителями и их смесями (спиртом, бензолом, дихлорэтаном, бензином и др.) и представляющие собой смесь продуктов превращения смолистой части растений: смол, восков и жирных кислот.

Битумы бурых углей состоят из углеводов, спиртов, жирных кислот, эфиров и восков. Выход битумов из молодых бурых углей может быть более 20%. У старых бурых углей он уменьшается до 3 %. Бурые угли, дающие выход битума более 6 %, как правило, хорошо брикетируются.

При температуре 70-90⁰С битумы размягчаются, плавятся, превращаясь в

пластическую массу, и, согласно битумной гипотезе, склеивают частицы угля, выполняя при этом роль связующего вещества. Содержащаяся в угле вода, согласно этой гипотезе, уменьшает трение между частицами, облегчая их сближение, и, кроме того, предохраняет битумы от чрезмерного перегрева и разложения.

При уменьшении крупности брикетируемого угля улучшается нагрев его частиц и размягчение битумов и образуются более прочные брикеты.

Битумная гипотеза наиболее старая, и ее несостоятельность была доказана экспериментально.

Гуминово-кислотная гипотеза. Гуминово-кислотная гипотеза объясняет сцепление частиц при брикетировании наличием в угле свободных гуминовых кислот, представляющих собой коллоиды и имеющих сильно выраженный полярный характер.

Гуминовые кислоты - это вещества, извлекаемые из углей слабыми растворами щелочей. Наибольший выход гуминовых кислот у молодых бурых углей. Он уменьшается с увеличением степени углефикации. Чем больше выход гуминовых кислот, тем лучше брикетируется уголь.

Согласно этой гипотезе, молекулы гуминовых кислот, благодаря сильным диполям, способствуют проявлению молекулярных сил сцепления между частицами при их тесном соприкосновении друг с другом при прессовании.

Многочисленные опыты по брикетированию остаточного угля после извлечения гуминовых кислот показали, что брикетируемость его может и улучшаться, и ухудшаться. Опыты по получению прочных брикетов из материалов, не содержащих гуминовых кислот, например, лигнина (отхода гидролизного производства), говорят о том, что гуминовые кислоты не могут являться связующим веществом при брикетировании углей и торфа.

Капиллярная гипотеза. Капиллярная гипотеза рассматривает бурый уголь как затвердевшее коллоидное вещество (гель), пронизанное многочисленными капиллярами, заполненными водой. В угольной мелочи рассматриваются капилляры первичные, имеющиеся в частицах исходного угля, и

вторичные, образующиеся между точками соприкосновения отдельных частиц. Число и размер первичных капилляров зависят от степени углефикации. В молодом буром угле число и размер капилляров больше и содержание влаги соответственно выше, чем у старых бурых углей.

При сушке бурого угля вода из вторичных и частично из первичных капилляров испаряется. Под влиянием капиллярных сил, обусловленных поверхностным натяжением оставшейся воды в первичных капиллярах, происходят сжатие и усадка угольных частиц.

При прессовании сушонки часть капилляров разрушается, часть сжимается. При сжатии капилляров часть воды из первичных капилляров выжимается наружу, обволакивает угольные частицы тонкой пленкой и заполняет вторичные капилляры в точках контакта частиц друг с другом. Выжатая из капилляров вода, выполняя роль смазки, способствует более тесному соприкосновению частиц и проявлению между ними молекулярных сил взаимодействия.

После снятия давления с брикета под действием упругих сил сжатых капилляров масса угля несколько расширяется, одна часть выжатой воды втягивается обратно в капилляры, а другая остается в точках контакта частиц, образуя под влиянием сил поверхностного натяжения вогнутые мениски. Под действием возникающих капиллярных сил частицы связываются друг с другом в прочный кусок.

Однако эта гипотеза оказывается несостоятельной при попытке дать ответы на следующие вопросы: почему получаются брикеты из полностью высушенного угля при повышенном давлении прессования и почему у брикетов при постепенной полной их подсушке сохраняется значительная прочность?

Коллоидная гипотеза. Коллоидная гипотеза объясняет образование брикета действием молекулярных сил сцепления Ван-дер-Ваальса. По коллоидной гипотезе бурый уголь рассматривается как вещество, состоящее из двух фаз: твердой и жидкой. Твердая фаза состоит из мельчайших коллоидных гуминовых частиц, размером от 10^{-3} до 10^{-5} мм. При сближении этих частиц под действием давления прессования возникают силы молекулярного сцепления,

обусловленные лиополярными группами гумусовых веществ. Эти силы обуславливают связь молекул в жидкости и кристаллах и объединяют коллоидные частицы в гели. Сближение коллоидных частиц под влиянием давления прессования обуславливает прочность брикетов. Чем меньше тело, тем больше отношение его поверхности к массе и тем больше величина сил поверхностного сцепления.

Коллоидная гипотеза отрицает влияние на процесс схватывания частиц поверхностного натяжения водяных пленок. Вода играет второстепенную, вспомогательную роль и служит только вмазкой, облегчающей сближение частиц. При недостатке влаги затрудняется сближение частиц, что сказывается на прочности брикетов. При избытке влаги увеличивается расстояние между частицами и уменьшается проявление сил взаимодействия между ними; прочность брикетов уменьшается. Содержание влаги, соответствующее наибольшему сближению частиц и проявлению сил сцепления, принимается за оптимальное.

Коллоидная гипотеза в известной степени объединяет и дополняет капиллярную и гуминово-кислотную гипотезы и полнее освещает механизм образования брикета. Соединение частиц в брикет по коллоидной гипотезе обусловлено коллоидным строением угля, однако имеются материалы неколлоидного строения (металлические порошки, кристаллические соли и др.), которые хорошо прессуются.

Молекулярно-капиллярная теория. И.Е. Святец и А.А. Агроскин установили, что при брикетировании на штемпельных прессах бурогоугольной сушонки крупностью 0-6 мм при оптимальной влажности 18-19 % во внутренних слоях частиц всех классов крупности (от +6 до 0-1 мм) кроме адсорбционно-связанной влаги содержится также капиллярно-связанная влага. Затем они определили размеры капилляров во внутренних слоях подсушенных частиц каждой крупности, претерпевших различную степень подсушки и усадки, и необходимое внешнее давление для выжимания влаги из капилляров. При этом было установлено, что это внешнее давление равно оптимальному давлению прессования, соответствующему максимальной прочности брикетов из частиц

каждой крупности в зависимости от их влажности.

Таким образом, в образовании брикетов участвуют как молекулярные, так и капиллярные силы.

В процессе сжатия угольных частиц при прессовании в результате взаимодействия соприкасающихся поверхностей происходит сначала их сцепление под действием всех видов молекулярных сил. Интенсивность действия молекулярных сил зависит от давления сжатия до начала выжимания капиллярной влаги и толщины пленки адсорбционно-связанной воды на поверхности частиц, уменьшающей действие молекулярных сил.

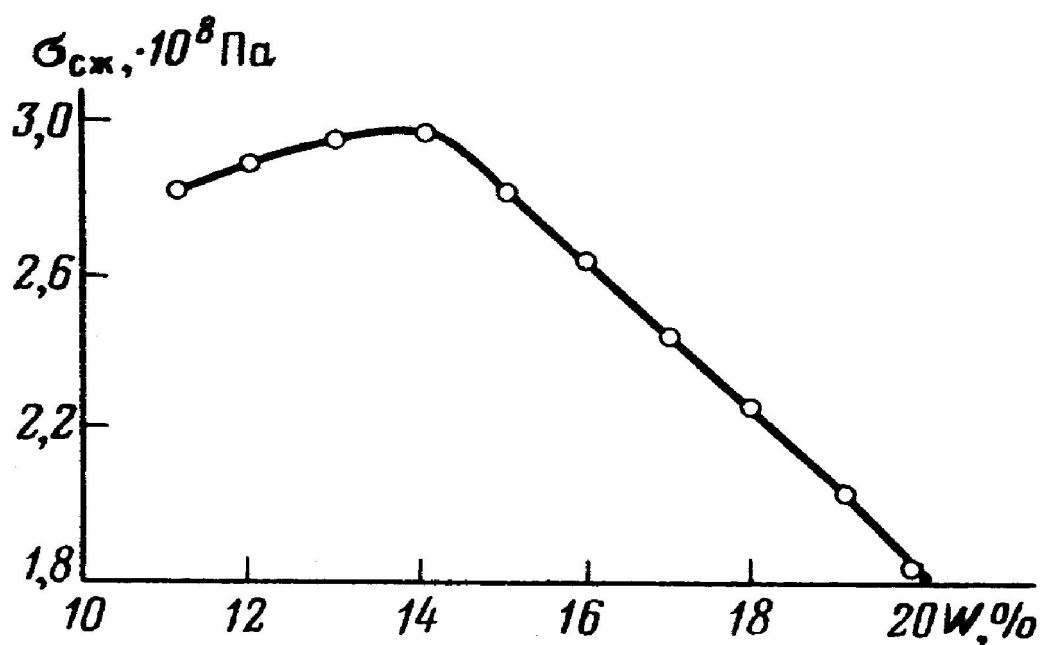


Рис. 2.13 – Зависимость прочности брикетов на сжатие от влажности бурого угля

Выжимаемая затем влага из первичных капилляров внутренних слоев заполняет промежутки между частицами, создавая дополнительные капиллярные силы сцепления. Прочность получаемых брикетов из частиц различной крупности будет зависеть от содержания капиллярной влаги.

Наибольшая прочность будет у брикетов из частиц размером 1-3 мм, содержание капиллярной влаги в которых оптимально. С увеличением крупности частиц прочность падает вследствие избытка капиллярной влаги и расклинивающего действия водных пленок, а при уменьшении размера частиц (<1 мм) прочность снижается из-за недостатка (дефицита) капиллярной влаги.

Молекулярно-капиллярная теория более правильно объясняет механизм образования буроугольного брикета, подтверждена экспериментальными исследованиями и практикой.

Контрольные вопросы:

- 1. Анализ гипотез механизма образования брикетов из бурых углей при их брикетировании без связующих веществ.*
- 2. Зависимость прочности брикетов на сжатие от влажности бурого угля.*
- 3. Прочность получаемых брикетов из частиц различной крупности.*

2.4.2 Технологические параметры брикетирования

Основные технологические параметры брикетирования угля без связующей добавки - влажность и крупность прессуемого угля (сушонки), давление прессования, температура сушонки и продолжительность прессования. Эти параметры находятся между собой в определенной зависимости. Для получения заданной прочности брикетов при изменении одного из параметров необходимо производить изменение другого или нескольких параметров.

Зависимость механической прочности брикетов от каждого отдельного параметра брикетирования угля часто носит экстремальный характер. Для углей хорошей брикетируемости эта экстремальная зависимость механической прочности от отдельных параметров брикетирования имеет более резко выраженный характер. С ухудшением брикетируемости угля экстремальная зависимость изменения прочности брикетов становится менее выраженной.

Влажность бурого угля. В бурых углях влага бывает адсорбционно-связанной и капиллярной. Первая обусловлена адсорбцией молекул воды в виде тонких гидратных пленок на угольной поверхности. Капиллярная влага заполняет поровые пространства между частицами и связывает их между собой за счет капиллярных сил.

На рис. 2.13 для углей марки Б1 крупностью 0-6 мм зольностью 20-22% и температуре 55-60⁰С показана зависимость прочности брикетов от содержания

влаги в брикетируемом материале. Оптимальное содержание влаги определяется взаимным влиянием крупности и температуры сухого угля. При этой влаге максимально проявляются молекулярные силы сцепления и достигается высокая прочность брикетов. При содержании влаги ниже 8-10% поверхность частиц недостаточно покрывается водными пленками. Поэтому сцепление частиц в процессе прессования обеспечивается в основном слабыми межмолекулярными ван-дер-ваальсовыми силами. Для эффективного брикетирования такого угля необходимы высокие давления прессования, компенсирующие недостаток влаги. Это приводит к «перепрессовке» угля. Брикеты получаются непрочными, легко разрушаются. С другой стороны, избыточное содержание влаги (20% и более) сопровождается утолщением гидратных слоев и заполнением водой поровых пространств между частицами. Толстые гидратные слои создают расклинивающее давление жидкости в зазоре между частицами, снижающее эффект прессования, а заполнение пор водой приводит к исчезновению капиллярной составляющей сил сцепления. В результате прочность брикетов резко снижается.

Оптимальная влажность угля, соответствующая максимальной прочности брикетов, не является величиной постоянной. Она зависит от давления прессования и крупности угля, а также его природы и окисленности. Оптимальное содержание влаги в бурых углях крупностью 0-6 мм и зольностью до 20 % составляет 14-16 % при давлении прессования 100-120 МПа.

На качество буроугольных брикетов существенно влияет распределение влаги в отдельных классах крупности. Мелкие частицы угля быстрее и легче отдают влагу при сушке, чем более крупные зерна. В крупных зернах в процессе сушки влага испаряется только с поверхности, задерживаясь в глубинных участках. Со временем она перемещается к периферии, создавая в брикетах многочисленные трещины. Поэтому для достижения высокой прочности брикетов необходимо обеспечить минимальную *влажноразность* между крупными и мелкими зернами. Снижение влажноразности может быть достигнуто дроблением крупных зерен (более 3 мм) и тщательным перемешиванием дробленного

продукта с классом 0-3 мм. В процессе дробления горячих крупных зерен значительная доля влаги испаряется, что выравнивает влажность материала. Для снижения влагоразности возможно также применение орошения водой мелких классов.

Крупность и гранулометрический состав. При уменьшении крупности брикетируемого материала увеличивается суммарная поверхность частиц и, следовательно, возрастает общая сила сцепления. Кроме того, уменьшение крупности угля способствует более плотной укладке частиц перед прессованием и образованию монолитного брикета, уменьшаются время и расход энергии на хрупкие и упругие деформации материала при прессовании и увеличивается доля энергии и времени на полезные пластические деформации.

Следовательно, чем тоньше измельчен уголь, тем в большей степени проявляются силы сцепления частиц и тем прочнее становятся брикеты.

Кроме крупности частиц на образование брикетов влияет гранулометрический состав брикетируемого материала, который влияет на плотность укладки частиц. При наличии в сушонке повышенного содержания крупных частиц увеличиваются число и размеры пустот в массе сушонки и часть энергии прессования затрачивается на разрушение некоторой доли крупных угольных зерен и заполнение пустот.

Расход энергии на пластические деформации будет уменьшаться, а прочность получаемых брикетов - снижаться.

Важное значение имеет равномерное распределение элементарных классов крупности в брикетной шихте.

Оно достигается выбором технологической схемы классификации угля и соответствующим аппаратным оформлением. Брикеты обладают максимальной прочностью при следующем соотношении классов брикетируемой смеси: 0-1 мм около 50 %, 1-2 мм — 40-45 % и 2-4 мм — 5-10 %.

На брикетируемость отрицательно влияют пылевидные частицы (менее 0,2 мм). Их содержание не должно превышать 8-10 %.

Крупность угля определяется целевым назначением брикетов. Для брике-

тов, используемых в быту, верхний предел крупности частиц составляет 4-6 мм; для технологических брикетов - до 2 мм.

В первом случае это обусловлено условиями воспламеняемости, во втором - повышенной плотностью структуры, связанной с условиями термической переработки. Крупность брикетируемого угля влияет на водоустойчивость брикетов.

Брикеты из мелкого угля более плотные, менее трещиноватые, обладают хорошей водоустойчивостью. Крупнозернистые брикеты менее водоустойчивые.

Давление и температура прессования. Давление прессования - основной параметр, влияющий на прочность брикетов. Особенно велико его значение при брикетировании молодых бурых углей. Увеличение давления прессования с 60 до 220 МПа позволяет при прочих равных условиях повысить прочность брикетов в 3 раза (рис. 2.13, а). Для различных бурых углей существует свой предел давления прессования, выше которого прочность брикетов падает.

На процесс прессования влияют длительность воздействия давления и равномерное его распределение в объеме брикетируемого материала. Уплотнение происходит не мгновенно, а во времени. Это позволяет передавать усилия прессования последовательно от периферийных слоев к глубинным. В первоначальный момент давление распространится в объеме материала волнообразно. Повышение усилий способствует некоторому выравниванию давления по высоте брикета.

Продолжительность прессования сказывается на соотношении и характере пластических и упругих деформаций.

При малых скоростях нарастания давления и длительном его воздействии увеличивается доля пластических и падает доля упругих деформаций. При очень быстром или мгновенном приложении давления отмечаются чрезмерные упругие деформации.

Быстрое наложение давления приводит к весьма нежелательному явлению - запрессовке воздуха в пустотах между сдавливаемыми зернами угля.

Стремясь покинуть пустоты после снятия давления, воздух разрушает брикеты. При медленном возрастании давления прессования воздух из пустот структурного каркаса удаляется почти полностью.

Прочность брикетов сохраняется. Высокая скорость приложения давления приводит к уменьшению динамического коэффициента трения брикетов о стенки пресс-форм. Снижаются прочность брикетов и производительность прессов.

Развитие давления прессования зависит от температуры сухого угля.

Увеличение нагрева угля способствует росту пластических деформаций, уменьшению трения между частицами и снижению упругих деформаций.

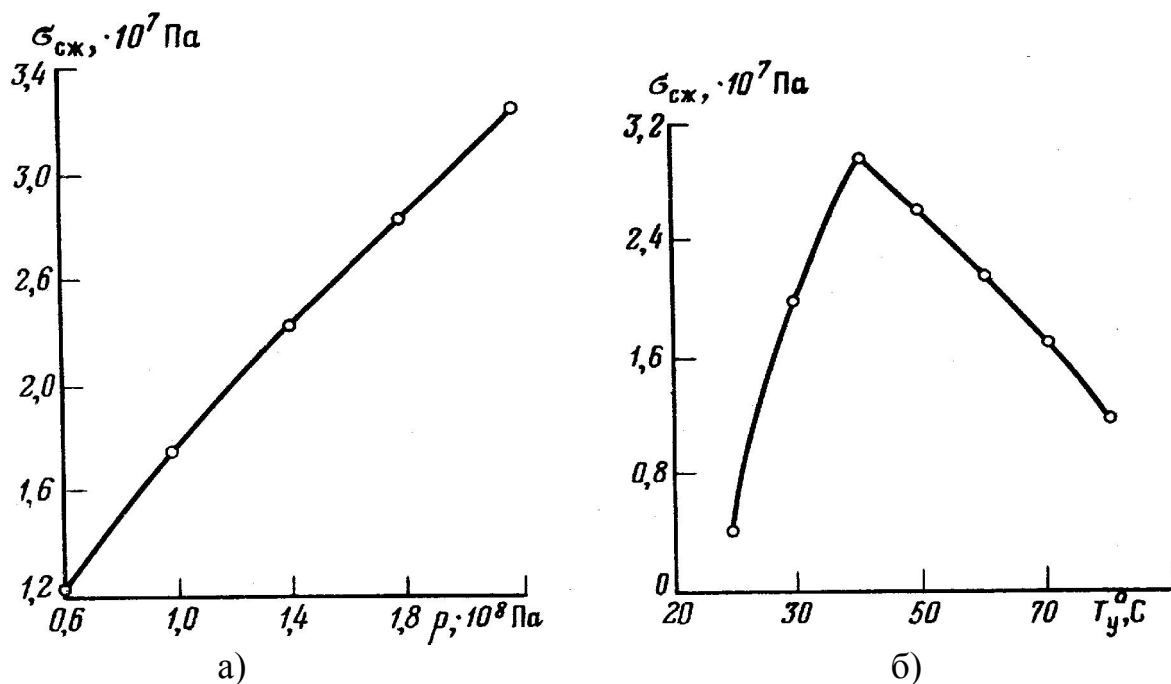


Рис. 2.13 – Зависимости прочности буроугольных брикетов от давления прессования (а) и температуры угля (б).

Высокие температуры сухого угля позволяют брикетировать его при более низких давлениях.

Это связано с интенсивностью броуновского движения и ослаблением внутримолекулярных связей, повышающих коэффициент пластичности.

Нагрев угля улучшает вытеснение влаги из капилляров и перемещение ее внутри брикета. Существует оптимальная температура, до которой может быть нагрет уголь. Увеличение температуры выше оптимальной вредно (рис. 2.13, б).

Высокие температуры нагрева угля усиливают действие упругих деформаций в брикетах, выходящих из пресса.

В результате уменьшается прочность брикетов.

Для достижения оптимальной температуры угля перед прессованием его охлаждают.

Охлаждение должно быть кратковременным, чтобы не допустить увеличения разницы в температуре крупных и мелких зерен.

Чем меньше разность температур этих зерен, тем меньше трещин на поверхности брикетов.

Контрольные вопросы:

- 1. Гипотезы буроугольных брикетов.*
- 2. Технологические параметры брикетирования угля без связующего.*
- 3. Влияние крупности материала на брикетируемость.*
- 4. Продолжительность прессования.*
- 5. Зависимость прочности брикетов от давления прессования и температуры.*

2.5 Технология брикетирования бурых углей

Технологический процесс брикетирования бурых углей включает в себя следующие операции: подготовку угля по крупности, сушку угля, охлаждение угля перед прессованием, прессование, охлаждение и погрузку готовых брикетов.

Согласно действующим ГОСТ и требованиям потребителей, буроугольные брикеты должны соответствовать следующим технологическим показателям: масса брикета 100-500 г; механическая прочность на истирание 75-80%, на сжатие и изгиб соответственно 70-90 и 10-15 МПа; влагопоглощение 3-4%; теп-

лота сгорания 24000-30000 кДж/кг; зольность 10-25%.

2.5.1 Подготовка угля по крупности

Подготовка бурого угля по крупности сводится к обеспечению оптимального гранулометрического состава. В зависимости от исходной крупности уголь подвергается двух- или одностадийному дроблению. Иногда первой стадии предшествует предварительное дробление. Оно применяется в тех случаях, когда в рядовом угле значительное содержание кусков размером более 400-500 мм. Предварительное дробление осуществляется на двух уровнях. В отделении углеприема уголь лопастными (крыльчатými) дробилками дробится до 200-250 мм с одновременным образованием до 50% зерен менее 25 мм.

В дробильно-сортировочном отделении с помощью валковых дробилок крупность угля доводится до 0-100 мм. Вместо валковых дробилок могут быть установлены молотковые, обеспечивающие крупность дробленого продукта 0-50 мм. Между обоими уровнями предварительного дробления включается операция предварительного грохочения на валковых грохотах. Грохочение позволяет выделить до 80-90% класса 0-25 мм в подрешетный продукт.

После предварительного дробления и грохочения уголь измельчается до крупности 0-6 мм: Эта операция (рис. 2.14) осуществляется следующим образом. Подрешетный продукт грохота предварительной классификации (класс 0-25 мм) и дробленый во второй стадии дробления продукт поступают на грохот предварительного грохочения. Обычно для этих целей используют валковые грохоты или инерционные с электроподогревом сит. Подрешетный продукт (класс 0-6 мм) поступает на сушку, надрешетный - в молотковую дробилку мелкого дробления, а затем на контрольную классификацию на вибрационных грохотах. Надрешетный продукт контрольной классификации возвращается на мелкое дробление.

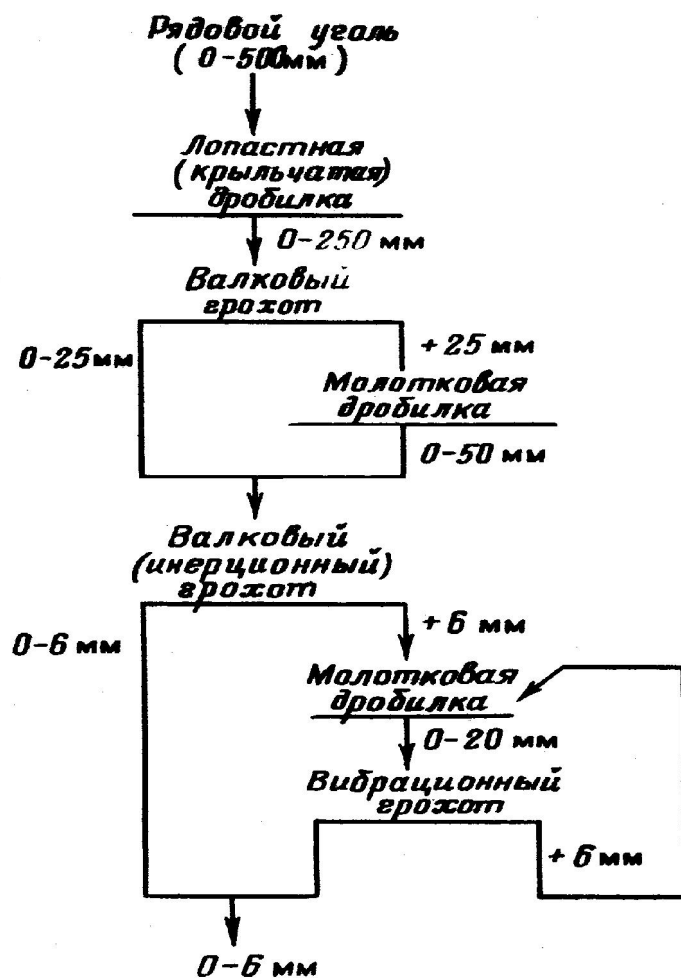


Рис. 2.14 – Схема подготовки бурого угля по крупности.

В зависимости от специфических особенностей бурых углей и требований, предъявляемых к брикетам, технологические схемы подготовки угля по крупности могут иметь различные соотношения предварительных и подготовительных операций. Особое внимание следует обращать на вывод из системы волокнистого лигнита. Его присутствие усложняет работу дробилок, забиваются грохоты, снижается производительность сушилок. Лигнит - угольное «дерево», обладающее повышенной пластичностью, но низкой брикетирующей способностью. Присутствие лигнита способствует развитию внутренних напряжений в брикетах, выходящих из пресса. Снижается их прочность, а иногда они вообще разрушаются. При большом содержании лигнита рекомендуется вместо молотковых применять валковые дробилки, которые не разрушают его, а

лишь раздавливают волокна. Такая обработка позволяет сравнительно легко удалить лигнит в надрешетный продукт грохотов.

Высокие зольность и влажность угля, особенно при большом содержании глины, отрицательно сказываются на работе грохотов и снижают производительность дробилок из-за залипания. Затрудняет работу ДСО повышенная твердость угля, наличие крупных кусков породы. Недопустимо переизмельчение угля в процессе его подготовки, так как оно приводит к повышению выхода угольной мелочи, снижению производительности сушилки и пересушке угля. Ухудшается качество брикетов, увеличивается пылеобразование.

Для повышения технологического эффекта дробления и грохочения рекомендуется подсушка рядового угля отходящими газами котельной.

При дроблении мягких углей следует отдавать предпочтение валковым дробилкам, не допускающим переизмельчение. Рекомендуется оборудовать грохоты системой электрообогрева сит, а также устанавливать механические очистители. Для повышения эффекта контрольной классификации при выделении продукта конечной крупности следует применять двухстадиальное грохочение.

Контрольные вопросы:

- 1. Что включает в себя технологический процесс брикетирования бурых углей.*
- 2. Требования потребителей к буроугольным брикетам.*
- 3. Подготовка бурого угля по крупности.*
- 4. Схема подготовки бурого угля по крупности.*
- 5. Причины вывода из системы волокнистого лигнита.*
- 6. На что влияют высокие зольность и влажность угля, особенно при большом содержании глины.*
- 7. С какой целью рекомендуется подсушка рядового угля отходящими газами котельной.*

2.5.2 Сушка угля

Сушка обеспечивает необходимую остаточную долю влаги бурого угля, являющуюся основным параметром при брикетировании. Оптимальная доля остаточной влаги в бурых углях, идущих на брикетирование, составляет 16-19%. Однако такое содержание влаги еще не гарантирует получение качественного брикета. Важно определить *влажгоразность* угля - влажность отдельных классов крупности, зависящую от гранулометрического состава. Как бы тщательно ни осуществлялся процесс сушки, влажность тонких частиц всегда намного ниже, чем крупных. Выравнивание влажности угля по классам не достигается даже после прохождения охладительных устройств. Наличие влагоразности в отдельных классах предполагает различное давление прессования для их уплотнения. Но так как практически это условие выполнить невозможно, то при хранении готовые брикеты могут сжиматься или расширяться. Эти явления тем заметней, чем больше влагоразность по классам крупности. Для создания условий снижения влагоразности рекомендуется зерна крупнее 3 мм после сушки отсеивать, додрабливать и дополнительно сушить.

Выравнивание влагоразности возможно без дополнительной сушки. Для этого сухой уголь крупнее 3 мм дробится до 1 мм и тщательно перемешивается с классом 0-3 мм. В процессе дробления горячих крупных зерен значительная часть влаги испаряется и снижается влагоразность в дробленном материале. Одновременно этот метод позволяет оптимизировать гранулометрический состав брикетируемого угля. Улучшается качество брикетов.

Для снижения влагоразности возможно применение орошения водой мелких классов. Однако этот метод не лишен недостатков: вода плохо смачивает пересушенный мелкий уголь. Ввод шламовой воды, хотя и улучшает смачивание, но она испаряется в основном на поверхности крупных зерен. Все же орошение водой способствует повышению прочности брикетов и снижению пылеобразования при транспортировке горячего угля.

Кроме перечисленных существует метод снижения влагоразности по

классам крупности путем обработки сухого угля перегретым паром.

Для сушки бурого угля обычно применяют паровые сушилки, которые обеспечивают более мягкое термическое воздействие на уголь, чем газовые. К основным типам паровых сушилок относятся трубчатая барабанная и тарельчатая сушилки.

Трубчатая барабанная сушилка (рис. 2.15 и 2.16) представляет собой цилиндрический, расположенный под углом 7-12°, вращающийся барабан диаметром 2,5-3 м и длиной 7-8 м.

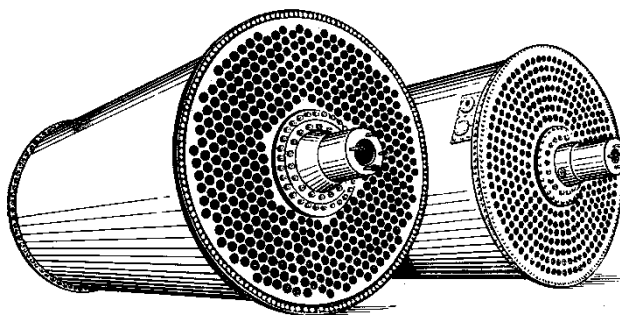


Рис. 2.15 – Общий вид трубчатой барабанной сушилки.

На торцах барабана закреплены трубные решетки 10 и 14 (рис. 2.16), в которые ввальцованы сушильные трубки 12 с внутренним диаметром 95-108 мм. Сушильные трубки распределены равномерно по шести секторам всей поверхности трубной решетки. Число трубок колеблется в пределах 600-1580 в зависимости от типоразмера сушилки. К передней трубной решетке крепится зубчатый венец 20, с помощью которого осуществляется вращение барабана сушилки. Пар в сушилку подается по трубе 18 и центральную трубу 13. Последняя имеет отверстия, связанные с межтрубным пространством. Конденсат собирается в нижней части барабана в сборниках 2.

Для увеличения заполнения и улучшения процесса сушки каждая трубка снабжается спиральными вставками 11 с переменным шагом, убывающим к разгрузочному концу сушилки. Уменьшающийся по длине трубки шаг спирали способствует торможению высушенного материала при одновременном снижении влагоотдачи. Спиральная вставка имеет длину 7 м и устанавливается на расстоянии 1 м от передней части трубок. Это способствует большему поступ-

лению материала в трубку при загрузке.

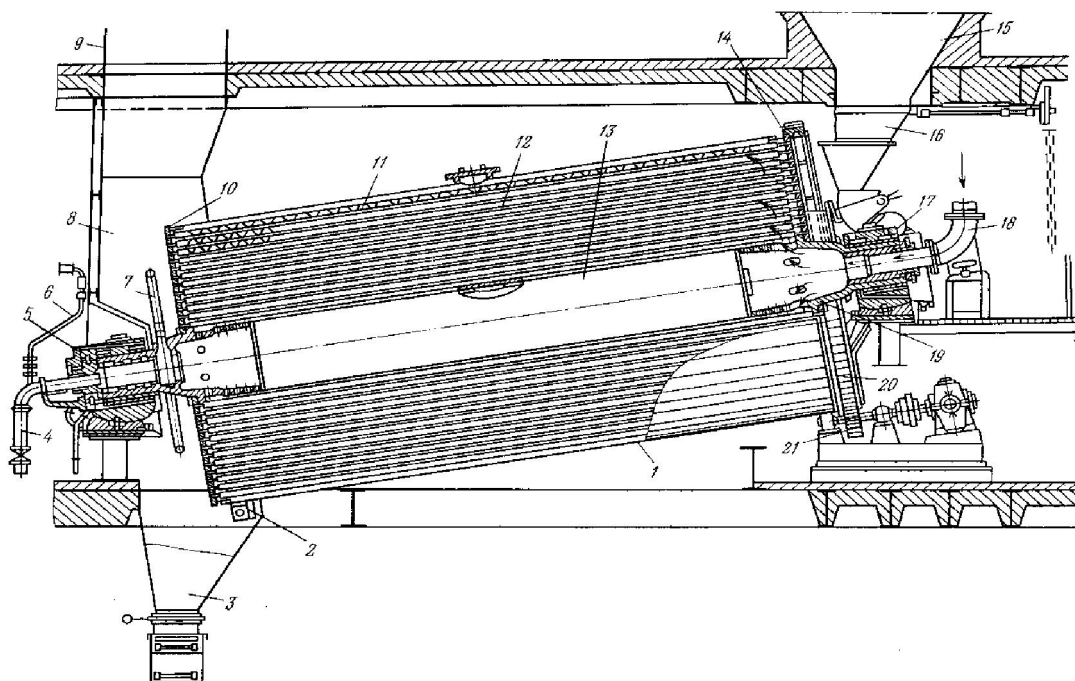


Рис. 2.16 – Трубчатая барабанная сушилка

Для обеспечения устойчивой сушки угля необходимо выдерживать основные режимные параметры. Должна соблюдаться строгая взаимосвязь угла наклона и частоты вращения трубчатой сушилки. Увеличение угла наклона при постоянной частоте вращения приводит к сокращению времени сушки и снижению степени заполнения углем трубок. При больших скоростях не достигается качественная сушка, возрастает влагоразность. Этот недостаток можно устранить, установив сушильный барабан под небольшим углом наклона. Наиболее целесообразно сушильный барабан устанавливать под углом $7-9^{\circ}$ с частотой вращения $5-10 \text{ мин}^{-1}$.

Важно выдерживать оптимальные параметры: давление пара должно составлять $0,25 - 0,4 \text{ МПа}$ и температуру в сушилке $126 - 147^{\circ}\text{C}$. Повышение давления пара вызывает повышение температуры его насыщения. Температура стенки трубки сушилки становится близкой к последней.

Контрольные вопросы:

1. Проанализировать оптимальную долю остаточной влаги в бурых углях, идущих на брикетирование.
2. Влагоразность угля.

3. *Выравнивание влажности угля по классам.*
4. *Снижения влагоразности по классам крупности.*
5. *Применение паровой сушилки для бурого угля.*
6. *Общий вид трубчатой барабанной сушилки.*
7. *Принцип работы трубчатой барабанной сушилки.*
8. *Что необходимо выдерживать для обеспечения устойчивой сушки угля.*
9. *Что приводит к сокращению времени сушки и снижению степени заполнения углем трубок.*
10. *Оптимальные параметры сушки, перечислить.*

2.5.3 Охлаждение угля перед прессованием

Уголь после сушки имеет высокую температуру. В паровой трубчатой сушилке он нагревается до $75-85^{\circ}\text{C}$. При этой температуре уголь продолжает отдавать влагу. Выделение влаги сухого угля чревато ростом упругости водяных паров при прессовании. В результате выходящие из пресса брикеты мгновенно приобретают большое число мелких трещин, снижающих их прочность.

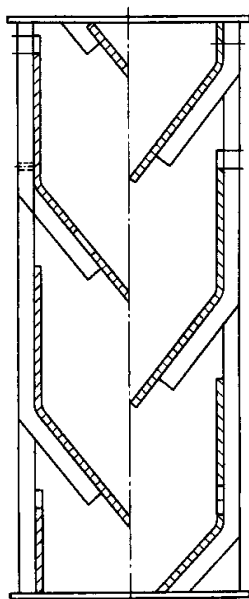


Рис. 2.17 – Жалюзийный охладитель

Высокая температура сухого угля уменьшает сопротивление в прессовом канале и увеличивает нагрев формовочных частей пресс-формы. Охлаждение сухого угля до 40-50⁰С благоприятствует работе штемпельных прессов. Оно также способствует разрушению комков угля, образовавшихся в процессе сушки и выравниванию влажности во всех классах крупности.

Охлаждение сухого материала является обязательной операцией перед брикетированием бурых углей, идущих для энергетических нужд. Если брикеты изготавливаются для технологических целей, эта операция исключается. Повышенная температура угля при прессовании компенсирует ухудшение пластических свойств, вызванное глубокой подсушкой. При полукоксовании высокое теплосодержание брикетов благоприятствует протеканию термохимических процессов.

Для охлаждения сухого угля на брикетных фабриках применяют системы с охлаждением в слое (охладительные скребковые конвейеры со сплошным дном, жалюзийные охладители) и во взвешенном состоянии (барабанные охладители, охладительные конвейеры с просеивающим дном и «кипящим слоем»). Первая система менее эффективна, требует большого времени охлаждения, крупногабаритная. Охлаждение во взвешенном состоянии дает лучшие технико-экономические показатели. Каждая система охлаждения оборудуется надежной обеспыливающей установкой, а также аппаратурой для очистки вентилируемого воздуха.

Охлаждение в жалюзийных охладителях осуществляется путем медленного и равномерного прохождения угля по охлаждающим элементам без задержки (рис. 2.17). Последние заполняются так, чтобы с них сходил избыток сухого угля. В барабанных охладителях в результате противотока холодного воздуха разрыхленный сухой уголь охлаждается быстрее, чем в жалюзийных. Мелкий уголь выгружается через просеивающее звено барабана на расстоянии 0,75 его длины, а крупный движется до конца охладителя.

Использование конвейеров различных конструкций для целей охлаждения угля - наиболее удобный и простой метод. Особенно удовлетворительные

результаты достигаются в скребковых конвейерах с «кипящим слоем», работающих в блоке с трубчатой паровой сушилкой. Сухой уголь выгружается на верхнюю ветвь скребкового конвейера, а затем переходит на нижнюю. Днище обеих ветвей выполнено из щелевидного сита размером 1-1,5 мм. Через сито продувается воздух (расход 0,25 м³ на 1 кг сухого угля). Такая интенсивность продувки позволяет снизить температуру сухого угля с 85-90 до 40-45⁰С.

Контрольные вопросы:

1. *Выделение влаги сухого угля.*
2. *Жалюзийный охладитель.*
3. *Что уменьшает высокая температура сухого угля.*
4. *На что влияет охлаждение сухого угля до 40-50⁰С.*
5. *Какие системы применяют для охлаждения сухого угля на брикетных фабриках.*
6. *Какое охлаждение во взвешенном состоянии дает лучшие технико-экономические показатели.*

2.5.4 Прессование

Прессование – основной процесс в общей технологии брикетирования бурого угля. Для производства буроугольных брикетов наибольшее распространение нашли штемпельные прессы.

Штемпельный пресс (рис. 2.18) включает станину 1, прессовую головку 2, прессующий механизм 3 и привод 6. Станина служит основанием для всех движущихся частей прессы. Она устанавливается на мощном железобетонном фундаменте 7.

В головке проходят горизонтальные каналы 2, в которых располагаются пресс-формы 1. В пресс-формах осуществляется собственно прессование. Сверху горизонтальные (матричные) каналы ограничены шарнирно закрепленной нажимной плитой 3. Нижняя плоскость нажимной плиты опирается на пресс-формы.

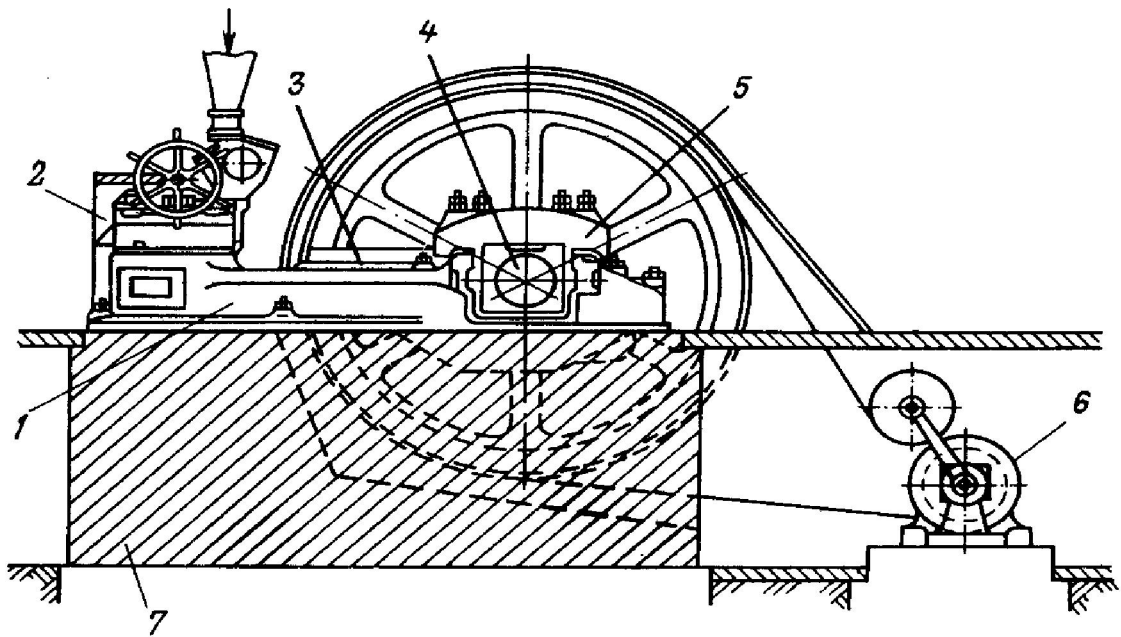


Рис. 2.18 – Общий вид штемпельного пресса

Это позволяет, изменяя положение нажимной плиты в вертикальной плоскости, регулировать высоту формовочного канала и давление прессования. Специальный регулировочный механизм состоит из винта 4, проходящего через гайку 5, закрепленную в верхней части головки.

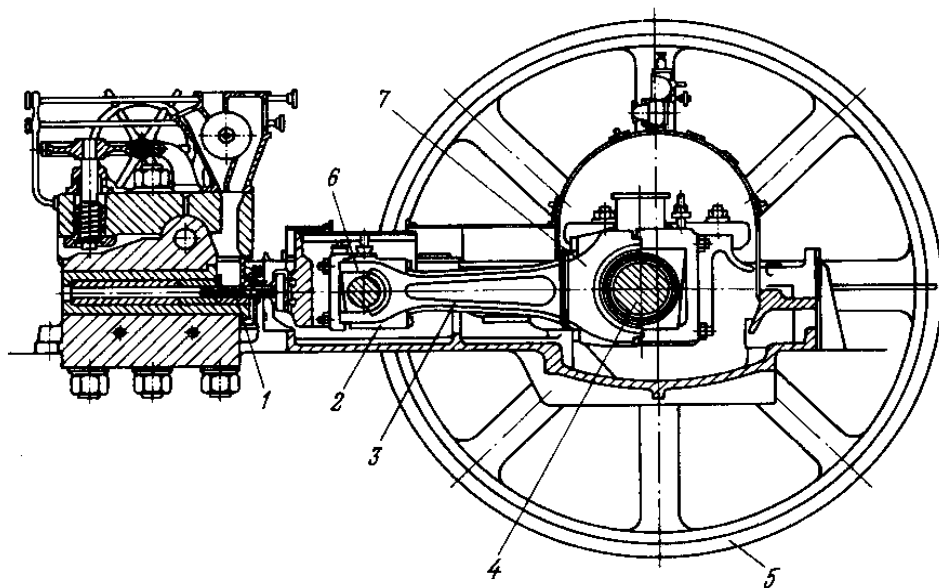


Рис. 2.20 – Прессующий механизм

Винт с одной стороны упирается в наружную часть нажимной плиты, а другой связан через червячную передачу с маховиком б. В новейших конструкциях прессов перемещение нажимной плиты с целью изменения давления прессования осуществляется через гидравлическое нажимное устройство.

Прессующий механизм обеспечивает формирование брикетов. Он состоит (рис. 2.20) из штемпеля 1, ползуна 2, шатуна 3, коленчатого вала 4 и маховика 5. Штемпель, изготовленный из высокосортной стали, крепится к ползуну. Последний соединяется с шатуном через подшипник б и движется по направляющим станины. Шатун через подшипник 7 закреплен на коленчатом валу. В качестве привода в современных прессах применяют высоковольтные асинхронные двигатели с фазовым ротором мощностью 70-300 кВт. В промышленности применяются одно-, двух- и четырех штемпельные пресса.

Материал, поступающий в штемпельный пресс, сжимается между торцом штемпеля группой брикетов в матричном канале. Давление прессования развивается за счет сил трения брикетов в канале и частично в лотке в течение определенного времени. За один полный оборот коленчатого вала штемпель пресса совершает полный цикл возвратно-поступательного движения. За этот период последовательно выполняются четыре операции: перемещение сухого угля из загрузочной камеры в матричный канал, прессование, проталкивание брикетов по матричному каналу и заполнение сухим углем пространства перед штемпелем.

Процесс формирования брикетов зависит от формы и размеров элементов матричного канала (рис. 2.21), который разделяется на пять зон: загрузки $L_з$, прессования L_n , прямого $L_{nб}$ и обратного $L_{об}$ букеля, выдержки $L_в$.

Зона загрузки служит для приема определенной массы сухого угля из загрузочной камеры пресса. В зоне прессования происходит первичное формирование материала в брикет заданной формы и массы.

В зоне прямого букеля путем местного сужения матричного канала на заданной длине происходит поперечное обжатие брикета- объемное формирование.

В результате дополнительного бокового сжатия увеличивается противо-давление в формовочном канале и давление прессования, возрастают плотность и прочность брикетов. Букель оказывает влияние на распределение бокового и осевого давлений. Если боковое давление в среднем по длине матричного канала составляет 30-35%, то в букельной части оно достигает 50-60%.

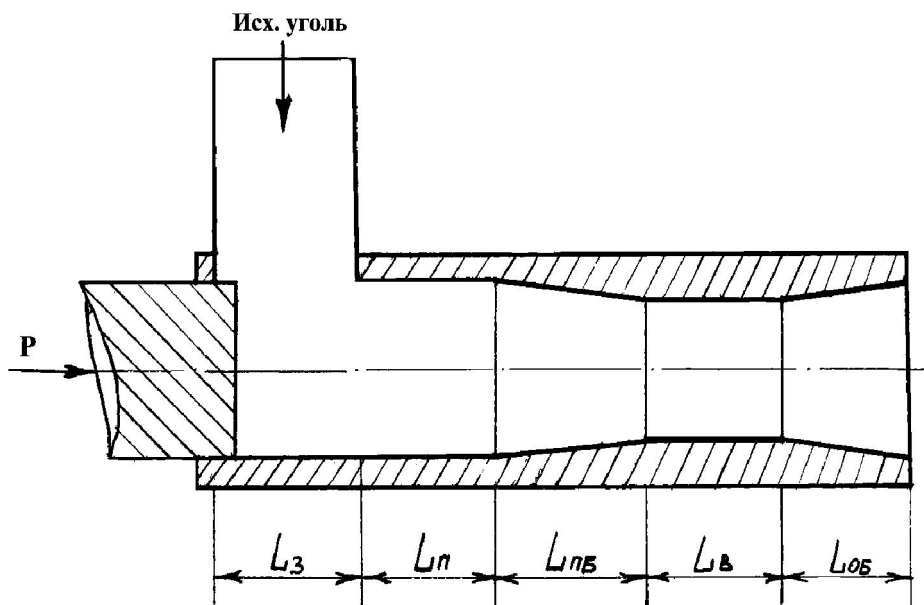


Рис. 2.21 – Принципиальная схема зон матричного канала штемпельного пресса

Оптимальные размеры прямого букеля (длина и высота) в конкретном случае устанавливаются методом подбора. В зависимости от свойств сухого угля критерием правильного выбора является получение брикетов установленного качества. По данным практики, для молодых бурых углей букель принимается длиной 120-150 мм и высотой 3-5 мм. С увеличением зольности и плотности угля высота букеля уменьшается, иногда до 1-2 мм, а длина увеличивается на 30-50%.

Зона выдержки брикетов под давлением - призматическая часть канала. Она служит для стабилизации брикетообразующих связей в результате релаксации внутренних напряжений при переходе упругих деформаций в пластические.

В обратном букеле происходит снятие в брикетах основной части остаточных внутренних напряжений в результате упругого расширения. Оптимальные размеры обратного букеля устанавливаются подбором в зависимости от свойств сухого угля. Размеры прямого и обратного букелей не всегда совпадают между собой.

Число ходов штемпеля определяет давление прессования: с увеличением оно падает и наоборот. Охлаждение матричного канала способствует росту давления прессования. Увеличение толщины брикетов всегда снижает его прочность или вызывает необходимость значительного увеличения давления прессования. На прессование в штемпельном прессе влияет трение брикетов о стенки пресс-форм. Коэффициент трения зависит от свойств бурого угля, влажности и температуры сухого угля, его абразивности.

Контрольные вопросы:

1. *Прессование как основной процесс.*
2. *Общий вид штемпельного пресса.*
3. *Что обеспечивает прессующий механизм.*
4. *Давление прессования.*
5. *Схема зон матричного канала штемпельного пресса.*
6. *Зона выдержки брикетов под давлением.*
7. *Что определяет число ходов штемпеля.*

2.5.5 Охлаждение и погрузка брикетов

Брикеты, выходящие из штемпельного пресса, имеют температуру на поверхности 70-80⁰С и 50-60⁰С внутри. Ее значения в зависимости от температуры высушенного продукта и условий прессования могут изменяться главным образом в сторону возрастания. Выходящие из пресса брикеты из-за наличия остаточной влаги и упругих последствий имеют низкую прочность. Они легко деформируются, разрушаются и склонны к самовозгоранию. Поэтому обязательная технологическая операция - охлаждение брикетов перед погрузкой, ко-

торое осуществляется на охлаждающих желобах, охлаждающих конвейерах или путем их комбинации.

Охлаждающие желоба, имеющие поперечное сечение, равное размеру брикетов (рис. 2.22, а), представляют собой систему из ряда металлических секций длиной 2,5- 4 м. Они выполняются из полосовой или уголковой стали. Первый желоб находится непосредственно в месте выхода брикета из матричного канала. Число желобов, устанавливаемых на один штампель пресса, составляет от 3 до 10 и определяется не столько условиями охлаждения, сколько созданием усилий противодействия (подпора в устье канала пресса).

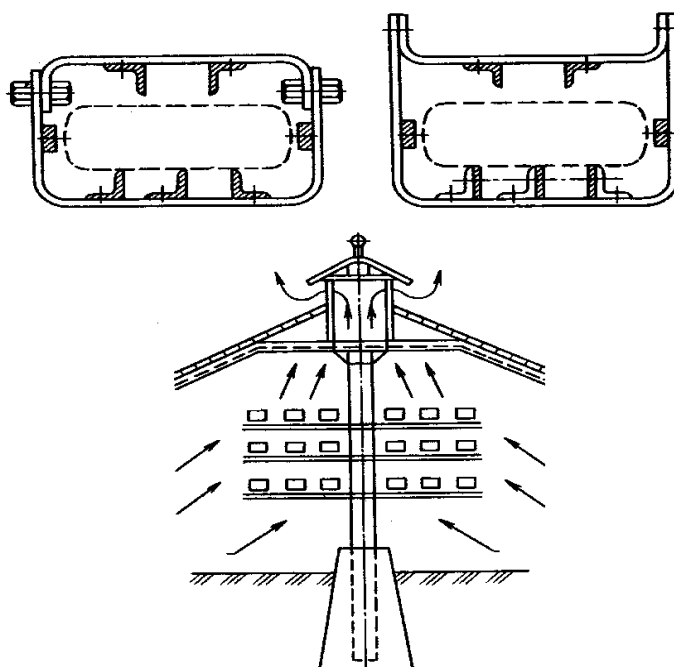


Рис. 2.22 – Разрезы охлаждающих желобов (а) и галереи охлаждающих желобов (б)

По мере движения по желобу брикеты охлаждаются и в них происходит постоянное снятие внутренних напряжений. Брикеты приобретают прочные внутрискруктурные связи. Длина одного комплекта желобов составляет 60-80 м. При более длинных желобах затрудняется проталкивание по ним брикетов, что может привести к их разрушению. Желоба располагаются в несколько рядов под навесом (рис. 2.22, б), защищающим брикеты от атмосферных воздействий.

В целях увеличения времени охлаждения до 3- 4 ч желоба устанавливают в несколько ярусов. Их общая длина составляет 400—600 м. Такая система позволяет обеспечить охлаждение брикетов до минимально допустимой температуры (40°C). Если температура превышает 40°C , то брикеты, находящиеся в железнодорожных вагонах или на складе, длительное время сохраняют и отдают избыточное тепло. В результате усиливается испарение влаги, происходит усадка, ослабляются внутрискруктурные связи и прочность брикетов понижается. Если избыточное тепло вызывает нагрев внутри массива брикетов более 60°C , то возникает опасность их самовозгорания.

Интенсивность этого процесса зависит также от размеров брикетов.

Чем крупнее брикет, тем он медленнее охлаждается и дольше сохраняет тепло в массиве. У крупных брикетов значительна разность в проницаемости водяных паров на различных поверхностях.

Ударные поверхности значительно более проницаемы и теплопроводны, чем боковые плотные и глянцевые.

Следовательно, чем больше отношение названных поверхностей, тем продолжительнее должно быть охлаждение брикетов. В этом отношении всегда предпочтительней мелкие брикеты.

Для охлаждения буроугольных брикетов можно с успехом применять тихоходные конвейеры. Несущим органом таких конвейеров может быть металлическая сетчатая или сплошная прорезиненная лента. Укладка брикетов на охлаждающий конвейер осуществляется в один-два ряда.

Преимущество этого метода — возможность всесторонней циркуляции воздуха как по ударным, так и боковым поверхностям брикетов, интенсифицирующей охлаждение.

Снижение температуры брикетов до оптимальных значений на охлаждающих конвейерах завершается за 40-60 мин.

Для уменьшения длины конвейера используют две ветви, устанавливая на верхней и нижней сбрасывающие устройства. При охлаждении брикетов на конвейерах отмечается высокая интенсивность паровыделения. Она приводит к

образованию большого числа усадочных трещин.

Особенно негативно влияние паровыделения при прессовании сухого угля повышенной влажности или наличие в ней большой влагоразности мелких и крупных классов.

Практикой доказана целесообразность комбинированного метода охлаждения: в охладительных желобах, а на завершающей стадии в охладительных конвейерах. В этом случае достаточно полно реализуются преимущества охлаждения плотно сжатой ленты брикетов в желобах и открытой поверхности брикетов на конвейерах.

Комбинированная система упрощает компоновку отделения охлаждения. Повышается его производительность и улучшается степень охлаждения брикетов. Создаются нормальные условия для погрузки брикетов в железнодорожные вагоны и хранения в резервном складе.

Завершающая стадия производственного процесса брикетирования - погрузка готовых брикетов.

Укладка брикетов в железнодорожные вагоны выполняется с помощью установки стационарных погрузочных стрел.

Эти устройства позволяют мягко при минимальной высоте падения размещать брикеты в железнодорожные вагоны.

Стрела перемещается в вертикальном и горизонтальном направлениях.

Перед погрузочной стрелой устанавливается контрольный грохот, обеспечивающий нормируемое содержание мелочи в брикете.

На небольших брикетных фабриках погрузка ведется путем предварительного накопления брикетов на складе, выполняющем одновременно функцию дополнительного устройства для их охлаждения.

Вместимость склада должна обеспечивать прием брикетов в течение нескольких суток, а его производительность по выгрузке соответствовать 2—3-кратной проектной мощности предприятия.

Контрольные вопросы:

1. Основные операции брикетирования бурых углей.

2. *Технология брикетирования бурых углей.*
3. *Подготовка угля по крупности.*
4. *Контроль влаги бурого угля.*
5. *Методы оценки качества сырья и брикетов.*
6. *Оборудование для прессования бурого угля и торфа.*
7. *Оборудование для подготовки и дозирования компонентов брикетной шихты.*
8. *Оборудование для охлаждения, погрузки и складирования брикетов.*

2.6 Моделирование технологической схемы процесса брикетирования

Технологическая схема брикетирования и используемое оборудование зависит от многих факторов, основными из которых является:

- Ситовый состав исходных компонентов шихты.
- Тип связующего и его затраты.
- Время полимеризации шихты.
- Время сушения брикета
- Время полного набора прочности брикетом.

При разработке вариантов схем брикетирования нужно учитывать следующие положения, полученные в результате проведенных исследований:

1. В процессе смешивания композиционной шихты со связующим (адгезивом) необходимо осуществить прогрев шихты для лучшего растекания связующего по поверхности зерен.

2. В процессе смешивания композиционной шихты со связующим (затвердителем) необходимо контролировать время смешивания на протяжении которого происходит первичная полимеризация материала и температуру необходимую для этого процесса.

3. Для прессования шихты использовать вальцевый пресс с давлением прессования не ниже 25-30 МПа.

4. На печати предусмотреть подпрессовщик, что обеспечивает уплотне-

ние материала перед процессом прессования.

5. На выходе из пресса необходимо предусмотреть установку грохота для отсева боя и мелочи.

6. Для термообработки готовых брикетов рекомендуется использовать оборудование непрерывного действия, типа «туннельного сушила» в потоке обратных газов.

7. Оборудование для процесса необходимо подбирать согласно технологическому регламенту приведенного в таблице 2.3.

Таблица 2.3

Регламент и режимы смешивания, брикетирование шихты и термообработки композиционных брикетов с двухкомпонентным органическим полимерным связующим

Операция	Параметр	Значение
Смешивание № 1 (Адгезив)	Продолжительность, мин	5
	Затрата, %	2,5
	Температура, °С	100
Смешивание № 2 (Затвердитель)	Продолжительность, мин	5
	Затрата, %	5
Термообработка	Продолжительность, мин	20
	Температура, °С	100
Брикетирование	Давление прессования, МПа	25
Термообработка	Продолжительность, мин	150
	Температура, °С	120

По результатам промышленных испытаний время смешивания может быть скорректировано. Необходимое время термообработки промышленных брикетов может быть увеличено

Контрольные вопросы:

1. *Технологическая схема брикетирования и используемое оборудова-*

ние.

2. *Что необходимо учитывать при разработке вариантов схем брикетирования.*

3. *Регламент и режимы смешивания, брикетирование шихты и термообработки композиционных брикетов с двухкомпонентным органическим полимерным связующим.*

2.6.1 Вариант технологической схемы процесса брикетирования

В результате проведенных экспериментов и исследований, а также сделанных выводов, разработана технологическая схема процесса брикетирования вторичных железосодержащих материалов с двухкомпонентным органическим полимерным связующим.

Вторичный железосодержащий материал – концентрат разных классов, из бункеров 1,2,3 с помощью питателей 4, попадает на конвейер 7, где происходит первичное смешивание классов, и подается в смеситель 8, для тщательного перемешивания со связующим (адгезивом), которое подается из емкости 5. В смесителе материал нагревают до температуры 100⁰С.

Повышенная температура содействует растеканию густого связующего по поверхности металлосодержащих частичек. Спустя некоторое время материал поступает в смеситель 10 к которому подается связующее (затвердитель) из емкости 9, материал тщательно перемешивается при температуре 100⁰С. После того, как наступает первичная полимеризация связующего шихта подается через шнековый подпрессовщик к валковому брикетному прессу 11, где под давлением 25 МПа, прессуются брикеты. Сырые брикеты через грохот 12, где отсеивается крошево и разрушенные брикеты, поступают на участок набора прочности 13, которая представляет собой туннельное сушило, через которое проходит поток горячих газов. Твердение брикетов происходит при температуре 120⁰С на протяжении 150 минут. Дальше брикеты направляются к бункеру 14, и вывозятся транспортом 15, потребителю.

Вариант технологической схемы процесса брикетирования изображен на рис. 2.23.

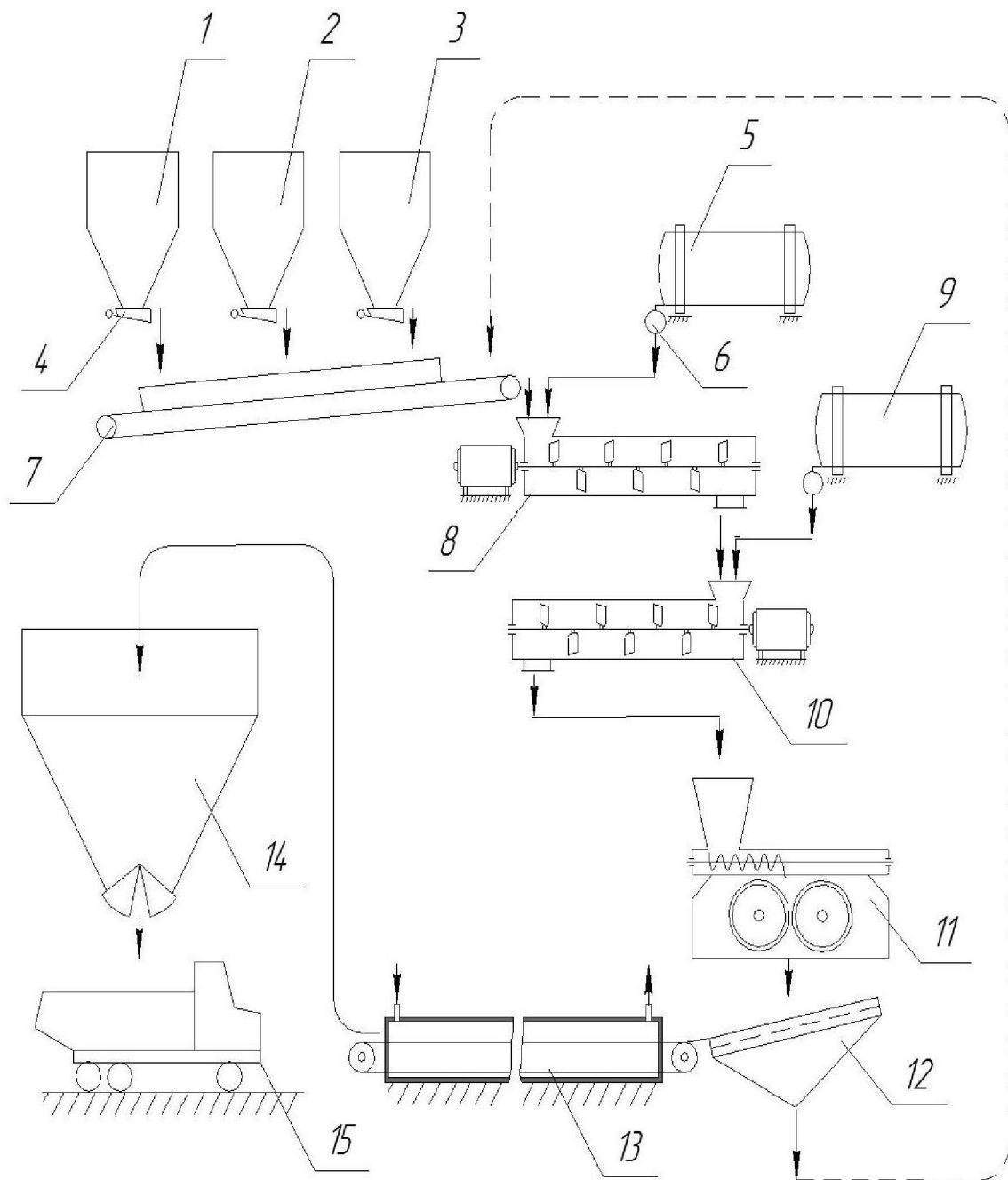


Рис. 2.23 – Вариант технологической схемы процесса брикетирования

1,2,3 – бункера железосодержащих концентратов разных классов; 4 – питатель; 5,9 – емкость со связующим; 6 – дозатор; 7 – конвейер; 8,10 – смеситель; 11 – валковый пресс со шнековой подпрессовкой; 12 – грохот; 13 – туннельное сушило; 14 – бункер готовых брикетов; 15 – отделение отгрузки.

2.6.2 Рекомендации промышленного применения технологий брикетирования и внедрения их на предприятиях

Можно предложить следующую схему внедрения технологии брикетирования на предприятии изображенную на рис. 2.24:



Рис. 2.24 - Схема внедрения технологии брикетирования на предприятии

Контрольные вопросы:

- 1. Факторы, влияющие на моделирование технологических схем процесса брикетирования.*
- 2. Влияние физико-механических исследований на разработку технологических схем процессов брикетирования.*
- 3. Разработка схем внедрения технологии брикетирования на предприятиях.*

3. ТЕХНОЛОГИЯ БРИКЕТИРОВАНИЯ РУД

3.1 Современные способы и технологии брикетирования вторичных железосодержащих материалов

Окускование брикетированием рудной мелочи, а со временем и концентратов, стали осуществлять с 1880 г.

В основном брикетирование использовали в цветной металлургии при окусковании пылевидных руд. Но потом этот метод стали применять и при окусковании железорудной мелочи, которая образовывается в значительных количествах, и концентрата, который нельзя было использовать непосредственно в доменных печах.

Государственное предприятие «Украинский институт по проектированию металлургических заводов» является самой большой проектной организацией, которая осуществляет проектные работы в Украине, странах СНГ и ряде зарубежных стран. Одним из основных направлений деятельности института является разработка мероприятий по комплексной утилизации мелкофракционных железосодержащих отходов металлургического процесса. Разработки института защищены рядом патентов.

Последние разработки касаются комплексной утилизации отходов Енакиевского металлургического завода (г. Енакиево, Донецкой обл.) [18].

В Украине и России подобные опыты успешно проводили в Институте черной металлургии им. З.И. Некрасова, ДонНИИчермет, Харьковском химико-технологическом институте, ЦНИИчермете им. И.П. Бардина и др. [37, 38]. Брикетты имеют исключительную прочностью на сжатие (до 15 кН/брикет) и сохраняют эту прочностью в доменной печи.

Преимуществом «горячего» брикетирования является возможность получения брикеттов из более крупного материала, чем при получении окатышей, для которых нужен материал, который содержит 70-80% класса –0, 043 мм или 90% класса –0, 074 мм [40, 41]. Имеет место также экономия тепла в сравнении

с агломерацией и производством окатышей. Несмотря на удовлетворительные показатели производства и использование брикетов, способ не получил широкого распространения из-за низкой стойкости валов прессов, которые работают в трудных температурных условиях.

С целью удешевления процессов производства и получения крепких брикетов стали использовать разные связующие, в т.ч. органические, которые пользовались преимуществом при производстве углебрикетов. Общим недостатком органических связующих является то, что они при нагревании в металлургических агрегатах пиролизируются и теряют прочность, а брикеты рассыпаются в порошок и выносятся из агрегата потоком газов [31]. Поэтому при брикетировании железорудного сырья чаще всего используют минеральные связующие, к числу которых относят известковое молоко или гашеную известь, жидкое стекло, разные цементы или смеси, которые дают крепкие соединения.

Использование известкового связующего является довольно распространенным. Оно позволяет развивать высокое давление прессования и получать удовлетворительную прочность брикетов уже при добавках до 10%. При их выдержке на воздухе имеет место укрепление брикетов за счет карбонизации извести.

По способу Вейса руду увлажняют известковым молоком и брикетируют; брикеты обрабатывают в две стадии: холодным углекислым газом и нагретым до 90-100⁰С под давкой 1 МПа. Продолжительность карбонизации 5-6 ч [37].

По способу Шумахера влажные руды или концентрат смешивают с 3–10% негашеной извести и 1–5% кварцевой муки. Полученные при давлении 30–40 МПа на брикеты на протяжении 2–4 ч автоклавируют при 174⁰С и давлении 1 МПа. Прочность брикетов 10-13 МПа [31].

К подобным способам нужно отнести и способ Юзбашова, в котором он предложил в качестве связующего использовать 3-6% портландцемента [33]. Для повышения пористости брикетов в них добавляют пылевидный уголь или деревянную тирсу, выгорающую в доменной печи. Преимуществом способа является то, что вместо цемента можно использовать шлакопортландцемент. Ук-

репление брикетов осуществляют вылеживанием на протяжении больше 7 суток.

Недостатком данного способа является наличие в связи силикатного компонента, поэтому брикеты разрушаются при нагревании в доменной печи, и недостаточно высокая прочность брикетов, которая требует увеличения добавок цемента до 15%, что снижает содержание полезных компонентов.

По способу Н.Д. Аверкиева и Н.В. Удовенко получение крепких брикетов осуществляют путем использования жидкого стекла. Укрепление брикетов осуществляют путем вылеживания в естественных условиях на протяжении 7 суток [32].

Объединение идей этих способов и современных технических достижений позволило разработать эффективные технологии брикетирования. За границей с начала XX столетия широко используют брикетирование, которое считают довольно эффективным способом окускование отходов. Самого большого распространения брикетирование получило в Германии, США и Японии.

Германия занимает лидирующие позиции в сфере брикетирования. Так, брикетирование бурого угля было впервые освоено в Германии в конце XIX столетие. Поэтому вполне естественно, что и брикетирование железосодержащих материалов там же приобрело широкое распространение. Одно из первых предприятий по утилизации металлургических отходов было запущено в начале 60-х лет XX столетие. Его производительность – 200 т брикетов в сутки. Брикеты из колошниковой пыли и других железосодержащих отходов формировали на вальцевых прессах. В качестве связующего использовали 50%-ный сульфитный луг. Брикеты подвергали обжигу при температуре 600–900 °С в атмосфере $CO : CO_2 = 3:1$. Готовые брикеты имели прочность на сжатие больше 25 МПа; их использовали в доменном производстве [33].

Фирма «Аугуст Тиссен Хютте» также предложила и реализовала в промышленном масштабе брикетирования колошниковой и конвертерной пыли, а также других отходов в смеси с угольной пылью и связующим. Брикеты используют в металлургическом переделе [34].

Фирма «Крупп» по согласованию с фирмой «Хеккет энджиниринг» в США эксплуатирует современное промышленное предприятие мощностью 400 тыс. т в год по брикетированию разных рудных отходов, – от мелочи рудных окатышей, к многоводным шламам мокрой газоочистки (рис. 3.1). Металлизированные брикеты из отходов используют в сталеплавильном и литейном производствах [35].

Фирмами «Кепперн» и «Макс Хютте» предложенный способ изготовления брикетов из отходов металлургического производства, который включает брикетирование окалины прокатных цехов и установок непрерывного литья заготовок, пыли и шламов доменных и сталеплавильных цехов вместе с нефтяным коксом, колошниковой пылью, коксовой мелочью, полученной при коксовании каменного и бурого угля. Количество добавок, которые содержат углерод отвечает полному восстановлению железа в брикетах при загрузке их в сталеплавильные печи и вагранки. Как пластификатор при брикетировании в шихту добавляют 1-4% Са (ВОН) 2, 2-7% мелассы и 1-4% сульфитного луга [35].

Способ фирм «Тиссен – Лурги» позволяет использовать брикетированную пыль в конвертерном процессе. Крупная пыль содержит 72% металлического железа и 85% железа общего; тонкая пыль – 20% металлического железа и 70% железа общего. Брикетты получают способом «горячего» брикетирования, при котором высокая степень металлизации сохраняется. Брикетты являются целиком пригодными заменителями руды и скрапа [36].

Фирмы «Мидрекс» и «Kobe Steel Ltd» разработали Fastmelt – процесс восстановления железосодержащих отходов (пыли и шламов) в печи с вращающимся поддоном, используя уголь и кокс в качестве восстановителя. Полученный продукт со степенью металлизации 85-92% и содержанием 2-4% углерода в виде брикетов или окатышей используют в шихте конвертеров, доменных и дуговых печей [39].

Процесс «Ферро-Зарубка», разработанный в США, может обеспечить утилизацию всей и углеродсодержащей пыли с низким содержанием цинка путем изготовления брикетов для доменного производства.

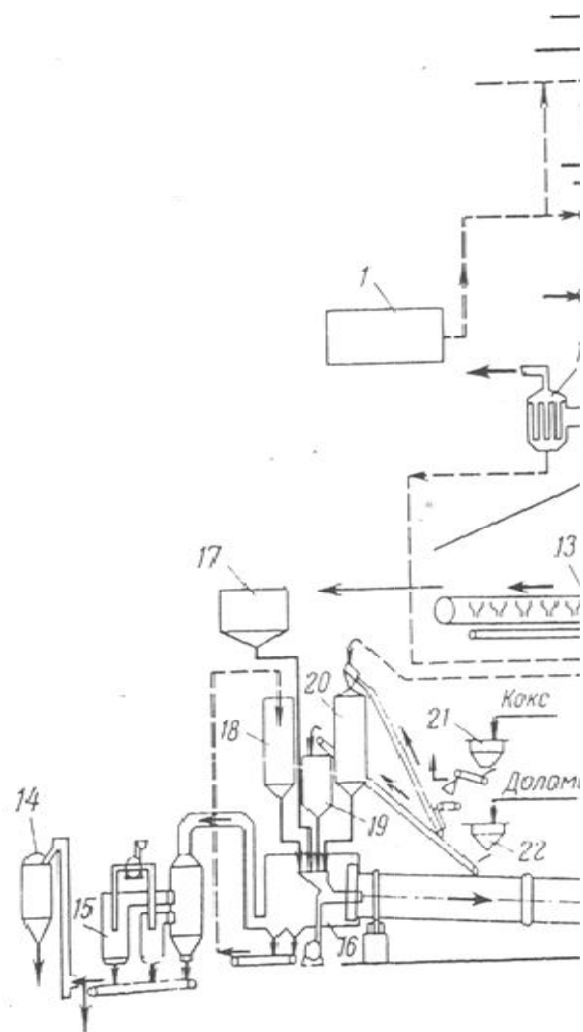


Рис. 3.1 - Схема цепи аппаратов промышленного предприятия из утилизации отходов фирмы «Круп»

1 - состав пыли и шлама; 2 - загрузочные бункера; 3 - бункера пыли с высоким содержанием цинка; 4 - бункера пыли со средним содержанием цинка; 5 - бункера пыли с низким содержанием цинка; 6, 12, 15 - пылеуловители; 7 - барабанная сушилка; 8 - ленточные весы; 9 - барабан для смешивания и увлажнения пыли; 10 - окомкователи; 11 - конвейерная сушилка; 13 - конвейер; 14 - бункер для пыли оксида цинка; 16 - радиационный охладитель; 17 - бункер окатышей; 18 - бункер возвращения; 19 - бункер доломита; 20 - бункер кокса; 21 - приемочный бункер кокса; 22 - приемочный бункер доломита; 23 - обжигающая вращающаяся печь; 24 - барабанный охладитель сырье; 25 - брикетная установка; 26 - грохот; 27 - весы; 28 – циклон.

Пыль, шлам и другие отходы не должны иметь крупности частичек +4, 76 мм и содержание влаги выше 8%; допустимое содержание масел в прокатной окалине, шламе – не выше 6%. Если в шихте на контрольном грохоте появляются большие материалы, их измельчают, а более влажные – подсушивают.

Процесс состоит из четырех основных стадий: сухое смешивание пыли практически в любом соотношении, нагревание шихты с введением расплавленного или нагретого углеводного связующего и перемешивание, брикетирование и нагрев брикетов в окислительной среде. Брикетирование осуществляют на вальцовых прессах под давлением от 30-40 до 80-90 МПа, что требует меньшей затраты связующего. Сырые брикеты имеют механическую прочность 0,35-0,50 кН/брикет и подвергаются термообработке в окислительной среде для дегидратации и полимеризации соединителя.

Прочность термообработанных брикетов составляет 0,9–5,0 кН/брикет и зависит от состава шихты (крупностью исходной шихты –3, 36 мм), затрат связующего и продолжительности термообработки. Брикеты стойкие при хранении на открытом воздухе, имеют необходимую водо- и термостойкость при тепловом ударе (погружение в расплавленный чугун с температурой выше 1500 °С), хорошую обновляемость (94,7–99% в сравнении с 42–66,4% для обожженных окатышей), которая определяется по способу Линдера. Способ связан со значительно меньшими капитальными и текущими затратами в сравнении с другими способами окускования [33].

Одним из эффективных направлений окускования металлизированной мелочи и пыли, которые образуются при прямом восстановлении железа, является брикетирование. В процессе «Мидрекс» выход мелочи фракции – 3 мм составляет 4%, а количество улавливаемой пыли 3%. Выбор брикетирования как метода окускования объясняется тем, что металлизированная мелочь состоит из относительно больших частиц со степенью металлизации до 92,5%, окускования которых другими способами не эффективно вследствие их повторного окисления.

Промышленная технология холодного брикетирования металлизирован-

ной мелочи и пыли с комбинированным связующим разработана фирмой «Мидрекс». По этой технологии в 1975 г на металлургическом заводе в Джорджтауне (США) запущенная первая большая установка. Оптимальный состав связующего, при котором брикеты обладают высокими механическими свойствами, следующий, %: 15-20 смолы, 15-20 гашеной извести в виде порошка крупностью меньше 0, 149 мм, 30-35 жидкого силиката натрия и 30-35 воды.

Наиболее экономичное производство брикетов при них кондиционной прочности обеспечивается при использовании связующего следующего состава, %: 3-5 смолы, 30-35 гашеной извести, 15-20 жидкого силиката натрия и до 50 воды. Вместо гашеной извести может быть использована влажная прокатная окалина. Брикеты отличаются высокими физико-механическими свойствами, высокой водостойкостью, которые позволяют хранить их в открытых складских помещениях. Разработанное связующее не вносит в состав брикетов вредных примесей. Брикеты почти не склонны к вторичному окислению. Физические и химические свойства брикетированного металлургического материала приближаются к свойствам компактного металла [37].

С середины 90-х годов прошлого столетия в связи с началом интеграции Украины в мировые и Европейские экономические структуры, ростом конкуренции и повышением экологических требований к черной металлургии начал проявляться повышенный интерес к брикетированию как экологически чистому методу окускования.

На Ново-Краматорском машиностроительном заводе освоено производство брикетных прессов и установок производительностью до 30 т/ч и больше. В 1996 г на Константиновском металлургическом заводе успешно прошла испытание установка по брикетированию шламов и колошниковой пыли, изготовленная НКМЗ, производительностью 10 т / ч [42].

В начале 2007 года ГП «УкрГипроМез» разработал рабочую документацию на строительство установки брикетирования железосодержащих отходов производительностью 50 тыс. т брикетов в год [42].

Большие работы по утилизации отходов ведутся на Днепропетровском

металлургическом заводе им. Петровского. В 2001 г в кислородно-конвертерном цеху были проведены опыты по применению в составе шихты в качестве охладителя, и в связи с дефицитом стального лома, железосодержащих брикетов. Брикет из прокатной окалины и шлама со связующим, что является «ноу-хау» фирмы-производителя, имели размеры $60 \times 70 \times 90$ мм, прочность на сжатие – 6 МПа.

Брикеты обеспечивают снижение затрат металлолома и жидкого чугуна, улучшают процессы шлакообразования, которые содействуют повышению стойкости футеровки конвертеров на 20%, сокращение продолжительности продувки на 0,53 минуты и затраты кислорода на 90-100 м³ на плавкость. В июне 2003 г. конвертерный цех ОАО «ДМЗ им. Петровского» перешел к промышленному использованию железосодержащих брикетов [41].

На кафедре технологии материалов Волгоградского государственного технического университета разработанный брикетированный шихтовый материал - оксидоугольный брикет (ОУБ), получаемый из отходов металлургического производства: прокатной и термической окалины, пыли системы газоочистки и т.п. ОУБ, изготавливают с применением многокомпонентного связующего, которое предотвращает разрушение брикета на начальном этапе плавки и имеет свойства, благоприятные для максимального восстановления железа из оксидов и углеродного расплава. Связующими компонентами служат жидкое стекло и смесь оксидов на силикатной основе. Жидкое стекло играет роль первичной связки, которая предоставляет брикетам после сушения прочность, достаточную для них хранения, транспортировки и заваливания в печи. Вторичная связка – это система на силикатной основе $\text{SiO}_2\text{--B}_2\text{O}_3\text{--CaO--K}_2\text{O}$, которая сохраняет прочность брикета при температурах 1300–1450⁰С, предоставляя ему вязкость, и препятствует преждевременному разрушению при плавке. Связующее также содействует максимизации действия углерода при восстановительном и углеродном процессах. Развитая реакционная поверхность компонентов ОУБ обеспечивает высокую скорость восстановления железа из оксидов.

ООО «Экомашгео», г. Тула, разработана оригинальная технология изготовления металлургических брикетов из железосодержащих отходов на цементном связующем и испытана на металлургических предприятиях ОАО «Тулачермет», РУП «Белорусский металлургический завод» и ОАО «Лиепаяс Металургс». Особенностью процесса прессования является использования вибропрессов с небольшой удельной давкой до 0,1 МПа с одновременным влиянием на смесь вибрацией с частотой 30-70 Гц и амплитудой колебания 0,2-0,6 мм. Разработанные типичные технологические линии по производству брикетов виброспособом производительностью 80-5000 т/сутки [42]. Схема технологической линии производительностью до 2000 т брикетов в сутки приведена на рис. 3.2.

В тесном сотрудничестве с машиностроительными фирмами Германии и Польши специалисты «Экомашгео» выбрали такое дозирующее и смешивающее оборудование, которое обеспечивает точность дозирования связочных материалов в пределах 1% и позволяет проводить их смешивание, регулируя интенсивность перемешивания, тем самым обеспечивая максимально возможную степень гомогенизации шихтовой смеси. Высокая степень гомогенизации способствует снижению затрат связующего не менее чем на 1,5% в сравнении с аналогичными затратами при использовании традиционных типов смешивающего оборудования.

Контрольные вопросы:

- 1. История брикетирования рудной мелочи.*
- 2. Направления окускования металлургической мелочи и пыли.*
- 3. Технологии холодного брикетирования с комбинированным связующим.*
- 4. Что используют в качестве связующих компонентов.*
- 5. Технология изготовления металлургических брикетов из железосодержащих отходов на цементном связующем.*
- 6. Схема компоновки технологической линии производительностью до 2000 т брикетов в сутки.*

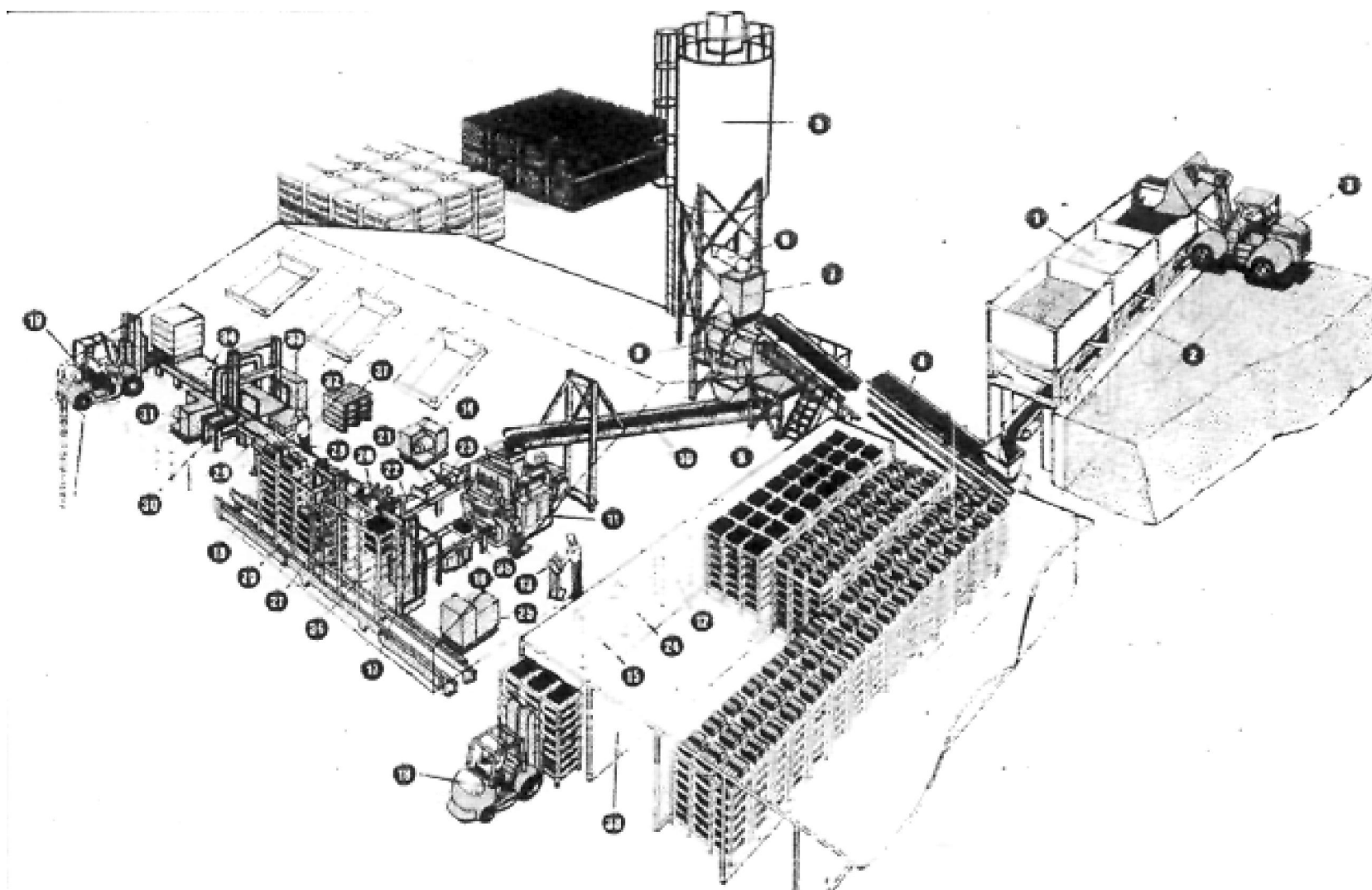


Рис. 3.2. Пример компоновки технологической линии производительностью до 2000 т брикетов в сутки.

3.2 Агломерация и окомкование руд

3.2.1 Сущность процесса агломерации

Агломерация - термический способ окускования мелких руд, концентратов и колошниковой пыли путем их спекания при нагреве.

Агломерационная шихта (смесь продуктов) состоит из следующих основных компонентов: концентрат 40-50%, известняк 12- 20%; возврат (мелкий агломерат) 20-30%, коксовая мелочь 4-6 %; влага 6-9%. В ряде случаев в шихту дополнительно вводят колошниковую пыль и окалину.

Известняк и коксовую мелочь до смешивания с другими компонентами шихты измельчают до 3 мм. Крупность спекаемой шихты оказывает большое влияние на процесс агломерации.

Максимальный размер частиц руды в шихте не должен быть более 8-10 мм. Более крупную руду спекать нецелесообразно, так как она может быть использована в доменном производстве без окускования.

При спекании тонкоизмельченных концентратов (75% кл.-0,074 мм) в шихту рекомендуется вводить 20-25% руды крупностью 6-8 мм.

Шихту перед спеканием подвергают тщательному перемешиванию, увлажнению и окомкованию.

Окомкование ведется во вращающихся барабанах. Окомкованию способствует добавка извести.

Топливом для агломерационного процесса в большинстве случаев служит коксовая мелочь крупностью 2-3 мм. Она должна быть малозольной (9-10%) и характеризоваться незначительным выходом летучих веществ (2-3%).

Возвратом называется мелочь, получаемая при дроблении и грохочении агломерата.

Возврат крупностью 8-13 мм используется в качестве постели на спекательной ленте, а класс 0-8 мм в виде циркулирующей нагрузки возвращается на повторное спекание.

Схема агломерационного процесса показана на рис. 3.1. На колосниковую решетку установки 1 (например, на тележку агломерационной машины) загружают постель 2. После укладки постели загружают шихту слоем 250-300 мм.

Под колосниковой решеткой эксгаустером создается разрежение порядка 7-10 кПа, в результате чего с поверхности в слой засасывается наружный воздух. После включения эксгаустера зажигают верхний слой шихты; осуществляется это просасыванием раскаленных до 1473-1513⁰К продуктов горения, образующихся при сгорании смеси доменного и коксового газов в горелке (или зажигательном горне). Продукты горения газа отдают тепло верхнему слою шихты, удаляя из него влагу, и создают условия для начала горения топлива шихты. Горение поддерживается воздухом, просасываемым из атмосферы. Зона горения 6 постепенно перемещается сверху вниз (до колосников) со скоростью 10-40 мм/мин. При перемещении зоны горения до постели процесс спекания заканчивается. Процесс длится 7-15 мин.

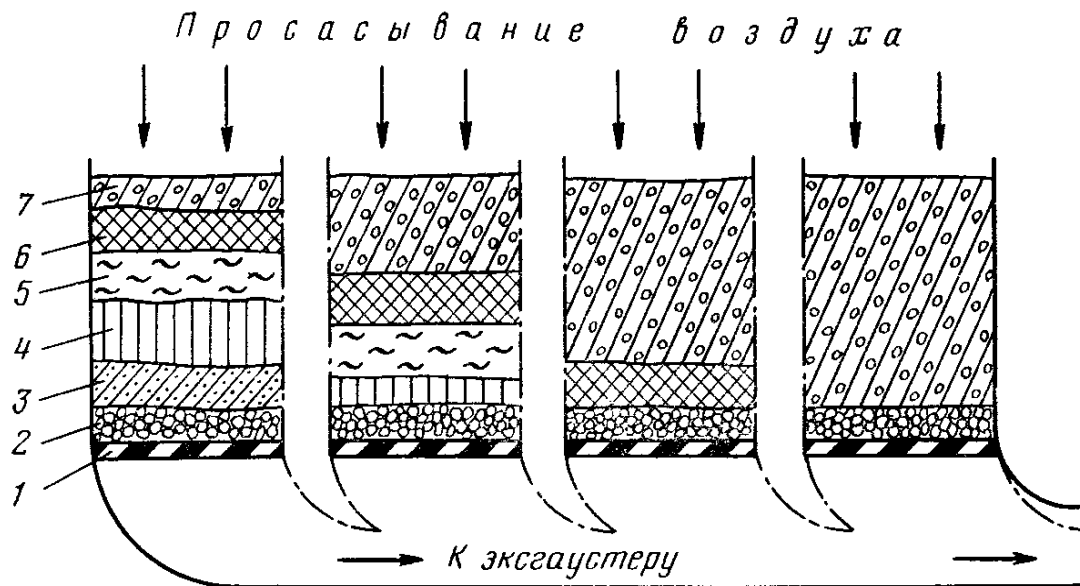


Рис. 3.1 Схема процесса агломерации

Особенностью агломерационного процесса является то, что в каждый данный момент горение происходит только в узком слое шихты (не более 40 мм). Ниже зоны горения находится шихта, в которой частицы горючего не мо-

гут гореть из-за низкой температуры, недостаточной для воспламенения (менее 973 К), и малого содержания кислорода в просасываемом газе.

В зоне горения топлива (кокса) протекают процессы перекристаллизации минералов. Физико-химические свойства агломерата определяются температурой в этой зоне.

Выше зоны горения находится готовый агломерат 7, через который просасывается воздух. Охлаждая агломерат, воздух нагревается. Тепло воздуха используется в нижележащей зоне горения топлива, где температура достигает 1673—1873⁰К. Зона готового агломерата 7 характеризуется законченным термическим процессом. В этой зоне имеет место частичное окисление кислородом воздуха железорудных материалов готового агломерата - переход части магнетита в гематит.

За зоной горения следует зона нагрева шихты 5, в которой протекают процессы разложения карбонатов, гидратов, а также восстановительные процессы. Хотя в целом агломерационный процесс проводится с избытком воздуха, для микрообъемов, содержащих горящие частицы топлива, характерна восстановительная атмосфера.

В зоне сушки 4 испаряется гигроскопическая влага шихты. При высыхании комочки шихты, частично рассыпаясь, уплотняют ее. По этой причине зона сушки представляет наибольшее сопротивление прохождению газов через шихту. Зона переувлажнения 3, лежащая над зоной постели, характеризуется повышенной влажностью. Переувлажнение происходит вследствие конденсации водяных паров, отходящих газов при их соприкосновении с более холодной частью шихты.

Постель прямого участия в процессе агломерации не принимает. Она предохраняет колосниковую решетку от воздействия высоких температур, предотвращает просыпание шихты через зазоры, облегчает сход агломерата с решетки после окончания процесса.

Деление на зоны процесса спекания принято условно, так как в действительности он протекает непрерывно. Температура газов, отсасываемых эксгау-

стером, в течение длительного времени составляет $323-333^{\circ}\text{K}$ и только в последние минуты процесса повышается до $473-573^{\circ}\text{K}$. Агломерационный процесс является высокоэкономичным, так как обеспечивается почти полное использование тепла отходящих газов и значительной части тепла готового продукта.

В результате спекания получают спек. Предварительно охлажденный спек дробят и направляют на грохочение для отделения горячего возврата (класс 0-8 мм). Агломерат крупностью более 8 мм поступает на охлаждение и далее на грохочение. После грохочения агломерат классов +50 и -50 +13 мм направляется в доменный цех, а класс -13 +8 мм — для использования в качестве постели на агломерационной машине.

Наибольшее распространение для агломерации железных руд и концентратов получили агломерационные машины конвейерного типа, которые представляют собой конвейер, состоящий из отдельных тележек, перемещаемых по замкнутым направляющим.

Каркас с направляющими служит основой, на которой монтируются тележки, число которых зависит от размеров машины. Перемещение тележки осуществляется приводом, расположенным в головной части машины. Движение тележек в обратном направлении в сторону привода происходит самоходом вследствие уклона нижней ветви машины.

На горизонтальном (рабочем) участке тележки проходят по рельсовому пути над 15 вакуум-камерами, соединенными с газовым коллектором «экстаустером».

В головной части машины системой питателей производится загрузка шихты на тележку и зажигание ее под горном горючими продуктами горения смеси коксового или доменного газов. По мере продвижения тележек к разгрузочному концу машины (хвостовая часть) шихта превращается в спек (агломерационный пирог) (рис. 3.1).

В дальнейшем тележки, разгрузив агломерат на охладитель, возвращаются по нижнему наклонному участку пути в головную часть машины, и затем

снова поднимаются на горизонтальный участок.

Для дробления агломерационного пека применяют одновалковые зубчатые дробилки. Для отделения горячего возврата применяют самобалансные грохоты.

Охлаждение агломерата производят в специальных охладителях.

Контрольные вопросы:

1. *Состав агломерационной шихты.*
2. *Схема агломерационного процесса.*
3. *Топливом для агломерационного процесса.*
4. *Деление на зоны процесса спекания.*
5. *Агломерационные машины конвейерного типа, принцип эксплуатации.*

3.2.2 Технология производства агломерата

Технологическая схема производства агломерата имеет вид показанный на рис. 3.2.

На агломерационную фабрику для приготовления шихты поступают: рудные компоненты, колошниковая пыль и топливо.

При производстве офлюсованного агломерата поступает дополнительно флюс в виде известняка, доломита или магнезита.

Зачастую рудные компоненты и шихта имеют требуемую крупность. Топливо и флюс имеют завышенную крупность, а поэтому для их подготовки до необходимой крупности применяют операции дробления, грохочения и измельчения.

Подготовленные компоненты до необходимой крупности поступают в специальные бункеры – силоса, откуда дозируются в заданном соотношении для приготовления шихты. Смешение происходит в зависимости от крупности компонентов в одну или две ступени.

После этого полученная шихта направляется на агломерацию. Готовый агломерат подвергается дроблению и грохочению.

Горячий возврат для интенсификации процесса (подогрева шихты) направляется в операцию смешения.

Готовый же по крупности агломерат охлаждается, повторно классифицируется, где из него выделяется постель, направляемая на агломерацию, и вновь образованный мелкий продукт.

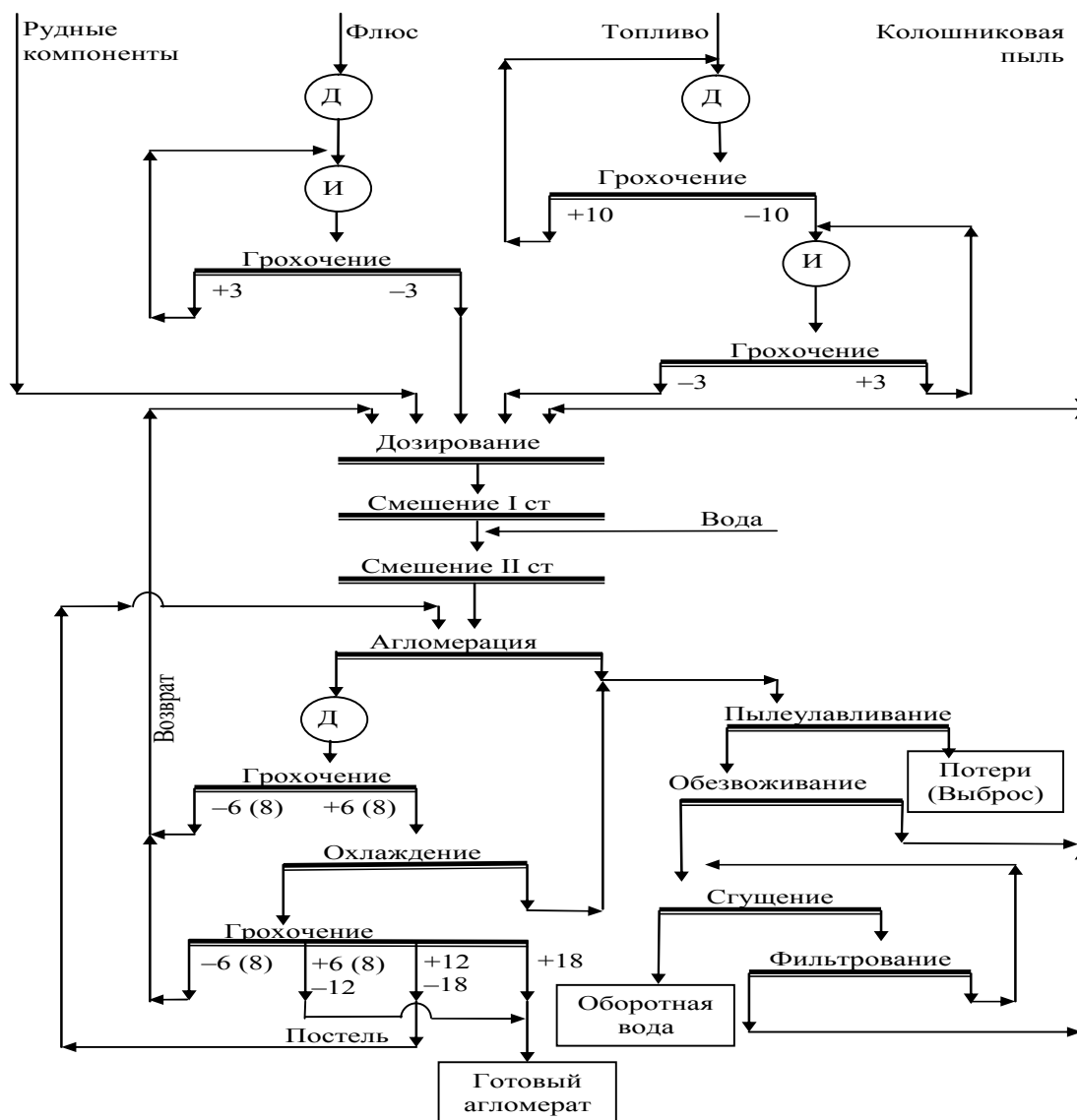


Рисунок 3.2 – Технологическая схема производства агломерата.

Готовый по крупности и охлажденный агломерат направляется на склад готовой продукции или непосредственно в металлургический цех на плавку.

Контрольные вопросы:

1. *Технологическая схема производства агломерата.*
2. *Необходимость готовый агломерат подвергать дроблению и грохочению.*

3. *Где и зачем из агломерата выделяют постель.*
4. *Куда направляют готовый агломерат.*

3.2.3 Оптимальная крупность компонентов шихты и ее приготовление

Для получения качественного агломерата верхний предел крупности для окисленных руд составляет – 8 мм, для магнетитовых – 6 мм.

Тем более что +6 (8) мм является исходным питанием доменных печей. Крупность возврата также ограничивается указанными пределами.

По многочисленным исследованиям крупность известняка не должна превышать 3 мм. Имеются данные о положительном влиянии дальнейшего снижения крупности известняка до -2 мм.

Увеличение крупности топлива свыше 3 мм вызывает резко выраженный очаговый характер горения топлива, что приводит к образованию крупнопористой структуры с низкой прочностью и восстанавливаемостью.

Отрицательно сказывается и наличие частиц менее 0,5 мм.

Данные частицы обладают большой подвижностью и выносятся в нижний слой шихты, вызывая прилипание агломерата к колосникам, или уносятся с дымовыми газами.

Кроме этого данные частицы при окомковании шихты они попадают внутрь комков, снижая скорость выгорания топлива. Фракции – 2,0 + 0,5 мм в твердом топливе должно быть не менее 70%.

На аглофабрику обычно поступает топливо в крупности –40 мм. Для его дробления используют четырехваловую дробилку, а для измельчения стержневую мельницу.

Известняк обычно поступает в крупности –25 мм. Его измельчение производят в молотковых мельницах, работающих в замкнутом цикле с вибрационным грохотом.

При поступлении известняка крупностью более 25 мм, дополнительно используются короткоконусные дробилки, которые доводят крупность мате-

риала до необходимой (15...20 мм).

Измельченные и усредненные шихтовые материалы отдельно, каждый по своему тракту, направляются в свой бункер накопитель или силосный бункер. Откуда через весовые питатели (тарельчатые, роторные, вибрационные и т.д.) шихтовые материалы дозируются в строго заданном соотношении.

Точность дозировки компонентов составляет 2,5...3%.

На аглофабриках в зависимости от крупности руды применяется одноступенчатая или двухступенчатая система смешивания.

Двухступенчатая применяется в том случае, если руда мелкоизмельченная.

Первая ступень смешивания производится роторными или барабанными смесителями без добавления воды.

Так как различают режимы движения материала при измельчении, его классифицируют и при смешивании в барабанных смесителях, оптимальная степень заполнения которых равна 10%.

Различают: каскадный; водопадный и циклический режимы смешивания (рис 1.10).

a) – каскадный; *b)* – водопадный; *c)* – циклический

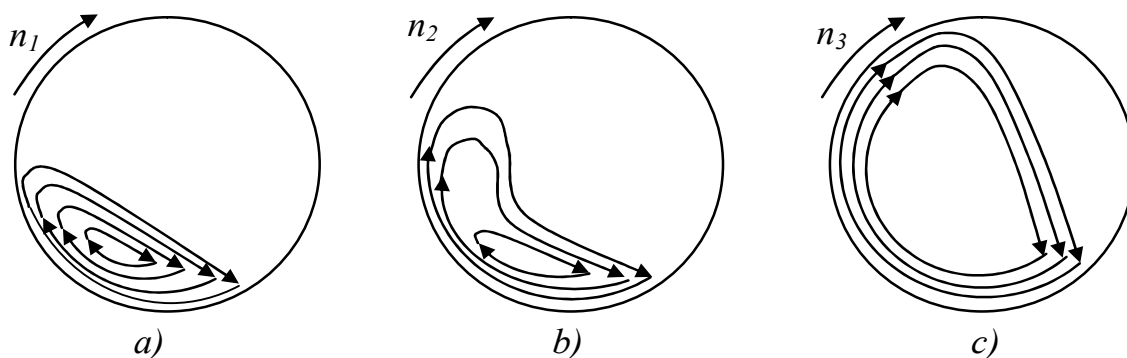


Рисунок 3.3 – Схемы движения материала при смешении

При каскадном режиме и незначительной частоте вращения барабана материал поднимается на некоторую высоту, а затем пересыпается по поверхности материала, который лежит под ним (рис. 3.3, *a*).

При циклическом режиме и значительной частоте вращения материал

поднимается поверхностью барабану, отрывается от нее, а затем по параболической траектории двигается до столкновения с поверхностью барабана (рис. 3.3, *c*).

При водопадном режиме, материал часть своей траектории проходит как и при циклическом режиме, но точка отрыва его от поверхности барабану расположенная значительно ниже и он сыпается на материал, который поднимается барабаном и остаток траектории движения проходит в каскадном режиме (рис. 3.3, *b*).

Лучшие результаты при смешивании достигаются за счет применения водопадного режима, который обеспечивает наиболее интенсивное перемешивание, за счет пересечения траектории движения частиц шихты различной крупности. За критерий движения материала в барабанном смесителе принят параметр B , равный:

$$B = \frac{n^2 \cdot R}{900};$$

где n – частота вращения барабана; R – радиус барабана.

Для каскадного режима параметр B имеет значение менее 0,1; для водопадного – изменяется в пределах 0,17...0,24, для циклического – более 0,3.

Характер поверхности смесительного барабана зависит от его поверхности.

В первичных смесительных барабанах к внутренней поверхности прикрепляют изогнутые стальные полосы, уголки и т.п., или устанавливают в нижней части шнеки, которые разбивают комки и способствуют лучшему перемешиванию.

В барабанах для окомкования (вторичное смешение) создают на поверхности стенки определенной толщины специальный слой материала, который имеет название *гарнисаж*.

Важной характеристикой данных барабанов является длина пути, проходимая материалом за время пребывания в барабане:

$$L = \pi D n \tau;$$

где: D – внутренний диаметр барабана, м; n – частота вращения барабана, об/мин; τ – время пребывания частиц в барабане, мин (более подробно на данном показателе остановимся при изучении окомкования полезных ископаемых.).

Для увлажнения шихты и обеспечения оптимальных условий окомкования вода в смесительный барабан подается на расстоянии $1/3$ от начала загрузки через форсунки.

Чем тоньше распыление воды, тем лучше работает барабан.

Увлажнение шихты при перемешивании приводит к сцеплению частиц в более или менее прочные гранулы под действием капиллярных сил, что повышает газопроницаемость шихты (более подробно остановимся при изучении окомкования полезных ископаемых).

Зависимость газопроницаемости от влажности носит экстремальный характер. Оптимальная влажность при которой достигается максимальная скорость спекания на $2...3\%$ ниже влажности, соответствующей максимальной газопроницаемости. (Почему ниже, а не именно эта величина? Вредное влияние переувлажнения шихты в данном случае компенсируется.)

Для магнетитовых концентратов оптимальная влажность составляет $5...8\%$, для бурых железняков – $14...24\%$.

Контрольные вопросы:

- 1. Какой для агломерата верхний предел крупности для окисленных руд.*
- 2. Режимы движения материала при измельчении.*
- 3. Схемы движения материала при смешении.*
- 4. Лучшие результаты при смешивании.*
- 5. От чего зависит характер поверхности смесительного барабана.*
- 6. К чему приводит увлажнение шихты при перемешивании.*
- 7. Зависимость газопроницаемости от влажности носит экстремальный характер, почему.*
- 8. Какова для магнетитовых концентратов оптимальная влажность.*

3.2.4 Окомкование концентратов железных руд

Окомкование — процесс окускования увлажненных тонкоизмельченных материалов (60-80% класса $-0,044$ мм), основанный на способности их при перекатывании образовывать гранулы сферической формы (окатыши) без применения непосредственного давления.

Рост добычи и переработки тонковкрапленных железных руд и бедных железистых кварцитов приводит к увеличению производства тонкоизмельченных концентратов. Окускование таких концентратов (содержащих 90-95% класса $-0,074$ мм) агломерацией неэффективно вследствие снижения производительности агломерационных машин. В связи с этим в последние 10-20 лет для окускования тонких концентратов широко применяют окомкование исходной шихты и последующий упрочняющий обжиг полученных окатышей. Последние прочны, легко транспортируются и обладают ценными металлургическими свойствами.

Процесс получения окатышей из концентрата состоит из трех основных стадий: подготовки компонентов шихты для окомкования, получения сырых окатышей и их упрочняющего обжига.

Шихта для производства окатышей состоит из железорудной части, флюсующих и упрочняющих добавок и иногда твердого топлива.

Формирование окатышей происходит за счет сил взаимодействия между увлажненными частичками шихты, тесный контакт между которыми обусловлен уплотняющими усилиями, возникающими при перекатывании окатышей в окомкователях. При этом капиллярные силы, возникающие при образовании водных менисков в тонких порах на поверхности окатышей, являются наиболее существенными в сумме сил, определяющих прочность сырых окатышей. Способность концентрата образовывать окатыши определяется его физическими свойствами, и в первую очередь удельной поверхностью и гранулометрическим составом, а также склонностью к смачиванию. Обычно удельная поверхность и крупность концентратов, используемых для производства окатышей, состав-

ляют соответственно 1500- 2500 см²/г и 75-90%; класса - 0,044 мм.

В качестве флюсующей добавки применяются известняк и бентонит. Влажность шихты перед окомкованием должна быть на 2-3% ниже оптимальной. Недостающий объем воды добавляется при окомковании.

Сырые окатыши должны быть достаточно прочными для возможности транспортирования их от окомкователей до обжигающих агрегатов. Окатыши считаются годными, если они не разрушаются после 5-6 сбрасываний с высоты 300 мм.

Окатыши не должны растрескиваться в процессе их упрочняющего обжига. Для улучшения свойств сырых окатышей в концентрат вводят добавки: бентонит, повышающий сопротивление раздавливанию и растрескиванию при быстрой подсушке, известняк, который /служит флюсом и увеличивает сопротивление окатышей удару при перегрузках и раздавливанию при подсушке. Бентонит представляет собой высокодисперсную глину, способную образовывать гели с очень развитой поверхностью.

Лучшими считаются щелочные бентониты, в обменном комплексе которых преобладают щелочные ионы Na⁺ и K⁺ с высокой гидратирующей способностью. Наличие ионов щелочноземельных металлов в обменном комплексе, гидратирующая способность которых меньше щелочных, снижает качество бентонита. Бентонит применяется обычно крупностью 85-87% -0,074 мм, влажностью 5-8%. Расход его составляет 0,7-1,5% шихты.

Для окомкования концентратов используют барабанные и тарельчатые окомкователи.

Чашевый (тарельчатый) окомкователь (рис. 3.4) представляет собой вращающуюся чашу 1 в виде диска с бортом по окружности, установленную под углом 40-60° к горизонту. Окатывание материала происходит на днище чаши. Вследствие сил слипания материал комкуется и образующиеся окатыши поднимаются на некоторую высоту, а затем скатываются вниз по траекториям 2, при этом происходит увеличение размера уже образовавшихся окатышей и возникновение мелких комочков — новых центров окомкования. Конечная

крупность окатышей составляет 10-16 мм.

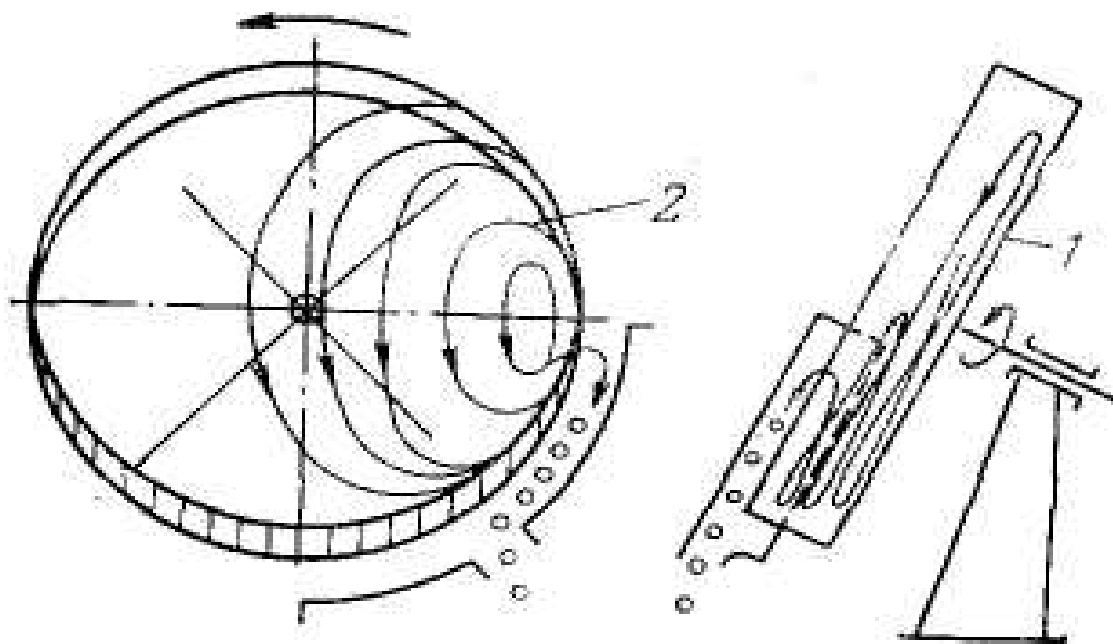


Рис. 3.4 Схема тарельчатого окомкователя

Сырые окатыши подвергают сушке, нагреву и обжигу на колосниковой конвейерной машине или во вращающейся трубчатой печи.

Металлизация окатышей осуществляется с целью частичного восстановления оксидов железа до металла. Это способствует повышению технико-экономических показателей их использования в доменном производстве. Получение металлизированных окатышей с применением в качестве восстановителя твердого топлива осуществляется двумя способами:

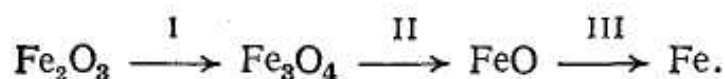
тонкоизмельченное топливо смешивается с железорудным концентратом и флюсами и из смеси получают рудно-топливные окатыши, подвергаемые восстановлению;

окомковывается шихта без топлива, после чего окатыши восстанавливаются в слое твердого топлива.

Сырые рудно-топливные окатыши производятся по обычной технологии. Их обжиг и восстановление производят при температуре 1473-1623⁰К.

Процесс восстановления железорудных минералов в окатышах можно

представить протекающим в три стадии:



Контрольные вопросы:

1. *За счет каких сил происходит формирование окатышей.*
2. *Основные компоненты агломерационной шихты.*
3. *Схема тарельчатого окомкователя.*
4. *Как происходит окатывание материала.*
5. *Влияние крупности на качество окатыша.*
6. *Процесс окомкования.*
7. *Оборудование для окомкования.*
8. *Процесс восстановления железорудных минералов в окатышах.*
9. *Как осуществляется металлизация окатышей.*

3.3 Методы термической переработки топлива

3.3.1 Общие сведения

Твердое топливо широко используется как для получения тепловой и электрической энергии, так и в качестве сырья для химических продуктов, необходимых для развития многих отраслей промышленности.

Коксохимическая промышленность является одним из основных поставщиков сырья для органического синтеза. Ассортимент химических продуктов на основе летучих продуктов коксования каменных углей составляет более 200 наименований.

Комплекс всех процессов превращений различных твердых горючих ископаемых, вызываемых действием тепла, принято называть термической деструкцией. Этим названием подчеркивается, что при нагревании угля, прежде

всего, происходят изменения молекулярной структуры, органической массы углей. При термической деструкции протекают различные химические реакции, сопровождающиеся физико-химическими процессами и физическими явлениями. Основной особенностью химических реакций является сочетание в них необратимых процессов разложения и синтеза, т.е. распада и уплотнения веществ органической массы углей с образованием новых продуктов.

Основными методами химической переработки твердого топлива являются: пиролиз (полукоксование, коксование), газификация и гидрогенизация.

3.3.2 Технология процесса коксования. Кокс и его свойства

Кокс – основной продукт коксового производства, представляет собой твердый пористый остаток термической переработки спекающихся каменных углей. Основными потребителями кокса являются предприятия черной, цветной и химической промышленности.

Кокс в доменном процессе является источником тепла, восстановителем и разрыхлителем шихтовых материалов. Размер куска кокса для доменного производства не менее 25 мм. Отдельные доменные печи с объемом больше 1100 м³ работают на коксе крупностью более 40 мм.

Химический состав кокса определяется техническим анализом (влажность, зольность, содержание серы, выход летучих веществ), а также элементным анализом (содержание углерода, водорода, кислорода, азота и др.).

Влага в коксе снижает его теплоту сгорания, так как при этом уменьшается содержание горючих компонентов, а также увеличивается расход тепла на испарение воды. Обычно влажность кокса крупностью +25 мм составляет 2...3%.

Зола кокса это балласт, так как она, во-первых, уменьшает содержание углерода, а во-вторых, при доменном производстве должна выводиться в шлак, на что дополнительно затрачивается флюс и тепло. Зольность крупного металлургического кокса составляет 9...12%. Зольность кокса зависит от начальной

зольности угольной шихты для коксования и определяется из выражения:

$$A_{\kappa}^d = \frac{100A_{ш}^d}{\gamma_{\kappa}};$$

где A_{κ}^d , $A_{ш}^d$ – зольность, соответственно кокса и шихты %; γ_{κ} – выход кокса %.

Сера в доменном производстве это вредная примесь. При ее переходе в металл значительно снижаются его качественные показатели. Кокс, полученный из донецких углей, содержит 1,6...2,0% серы. При увеличении содержания серы в коксе увеличиваются его расход, расход флюса, и снижается производительность доменной печи.

Содержание фосфора в коксе не должно превышать при выплавке специального чугуна 0,015%, а для производства других металлов - 0,04%.

Выход летучих веществ и элементный состав характеризуют степень готовности кокса. Выход летучих веществ колеблется в пределах 0,7...1,2%. Кокс при пересчете на сухую беззольную массу содержит 94...96% углерода, 1,5% водорода, 1,5...2,0% кислорода.

Наиболее важным показателем качества кокса является его прочность. Под прочностью понимают способность противостоять разрушающим усилиям и стиранию. Механическая прочность кокса определяется с помощью барабанной пробы, аналогично агломерату.

Контрольные вопросы:

- 1. Коксохимическая промышленность является одним из основных поставщиков сырья для органического синтеза, почему.*
- 2. Что называют термической деструкцией.*
- 3. Объяснить значения пиролиз (полукоксование, коксование), газификация и гидрогенизация.*
- 4. Кокс как основной продукт коксового производства.*
- 5. Химический состав кокса определяется техническим анализом, каким.*
- 6. На что влияет зола кокса и от чего она зависит.*
- 7. Наиболее важным показателем качества кокса является его прочность, почему.*

3.3.3 Характеристика сырья для коксования

Каменные угли являются единственным видом углей, из которых получают кокс, необходимый в металлургической промышленности. Для получения кокса пригодны не все марки каменных углей, а только те, которые обладают спекающей способностью. Спекающая способность – свойство углей при нагревании без доступа воздуха образовывать из разрозненных зерен угля твердый остаток в виде прочных пористых кусков.

Этим свойством обладают угли марок Д, Г, К, Ж, ОС, Т. Установлено, что спекающей способностью обладают угли, которые при нагревании без доступа воздуха при 350...400⁰С переходят в жидкое, текучее (пластическое) состояние. Однако свойство углей спекаться не является достаточным для получения металлургического кокса. Из спекающихся углей лишь коксовые дают металлургический кокс, все другие угли при коксовании в отдельности не дают требуемого кокса.

На коксуемость влияют петрографический состав, степень метаморфизма угля, выход летучих веществ, а также характер изменений при нагреве – переход в пластическое состояние, степень вязкости и температурный интервал этого состояния, спекание, динамика газовой выделения.

В качестве стандартного для определения спекаемости углей принят пластометрический метод (метод Л.М.Сапожникова и Л.П.Базилевича). Сущность метода заключается в следующем: в специальный аппарат помещается навеска испытываемого угля и нагревается (снизу) до 720⁰ со скоростью 3⁰С в минуту. При этом уголь проходит все пирогенетические стадии: сушку, пластическое состояние, образование полукокса и кокса. В результате процессов, протекающих в пластической массе угля, происходит изменение объема пластического слоя, что передается системой рычагов и фиксируется на вращающемся барабане со шкалой в виде соответствующей кривой. Размягчившийся уголь образует пластический слой, толщина которого замеряется специальной иглой. Ею же определяется перемещение верхней и нижней границ пластического слоя.

Расстояние между этими границами характеризует один из параметров угля – толщину пластического слоя $У$ (мм). По снижению кривой к концу опыта от начального уровня определяют второй параметр – усадку X (мм).

Этот метод положен в основу классификации углей по спекаемости (табл. 3.1). Основными параметрами классификации углей для коксования являются выход летучих веществ (V^t , %) и толщина пластического слоя ($У$, мм).

Таблица 3.1

Основные показатели спекаемости разных марок угля

Марка углей		Технологическая группа углей	Выход летучих, V^t , %	Толщина пластического слоя, $У$, мм
Наименование	Обозначение			
Длиннопламенный	Д	-	37	-
Газовый	Г	$\frac{Г6}{Г12, Г14, Г17}$	35	6-15
			35	16-25
Жирный	Ж	$\frac{Ж6, Ж10, Ж13}{Ж18, Ж21, Ж26}$	35-27	13-20
			35-27	21
Коксовый	К	$\frac{К8, К10}{К13, К14, К19}$	27-18	21
			27-18	14-20
Отощенный спекающийся	ОС	$\frac{ОС6}{ОС}$	22-14	6-13
			22-14	6
Тощий	Т	-	17-19	-

Контрольные вопросы:

1. *Спекающая способность угля для коксования.*
2. *Свойство углей спекаться не является достаточным для получения металлургического кокса, почему.*
3. *Какие свойства влияют на коксуемость.*
4. *В чем сущность пластометрического метода определения спекаемости углей?*
5. *Основные параметрами классификации углей для коксования.*

3.4 Безопасность брикетного производства

Брикетные фабрики являются опасными предприятиями по пожарам и взрывам. Основной причиной опасности брикетного производства является пыль и органические полимерные связующие. Кроме того, ряд связующих веществ обладает определенными токсичными свойствами, что также вызывает производственную опасность при их применении.

3.4.1 Безопасность на буроугольных брикетных фабриках.

Взрывоопасность промышленных пылей

Основной средой создающей пожаро- и взрывоопасность, является пыль бурого угля, содержащая до 65% летучих веществ, небольшое количество влаги (12-16%) и золы. Установлено, что при содержании влаги менее 20% и пыли более 40% она является взрывоопасной, а при содержании влаги ниже 40% пожароопасной. поэтому основные отделения – сушильное, прессовое, охлаждения и погрузки относят к категории взрывоопасной, а дробильно-сортировочное только пожароопасным.

Взрываемость пыли зависит от вида пыли, крупности ее частиц, концентрации в воздухе, наличия кислорода в смеси, температуры воспламенения (детонации) и других факторов. Наиболее опасна по взрываемости угольная пыль, а также пыль сахара, муки, древесные пыли. Взрыв пыли – это мгновенное соединение горючей части пыли с кислородом воздуха. При этом выделяется большое количество тепла и газов, которые, нагреваясь, быстро расширяются, образуя взрывную волну. Каждый взрыв характеризуется двумя периодами: начальным, когда газы, расширяясь, создают взрывной толчок и вакуум в центре взрыва; вторичным, когда холодные газы устремляются к вакууму в центре взрыва. Полагают, что второй период более разрушительный.

Интенсивность взрыва максимальна, если соотношение кислорода и горючей массы в продуктах горения соответствует соотношению для полного

сгорания продуктов в смеси. Содержание кислорода воздуха в горючей смеси должно быть не менее 16 %, при меньшем содержании взрыва не последует.

Крупность частиц существенно влияет на взрываемость пыли, так как с уменьшением размеров частиц возрастает их удельная поверхность, т. е. поверхность соприкосновения пыли с воздухом. Взрываемость угольной пыли увеличивается с увеличением выхода летучих веществ.

Концентрация угольной пыли в воздухе существенно влияет на взрываемость. Так, при концентрации угольной пыли 112 г/м^3 , когда пыль сгорает при полном расходе кислорода воздуха, интенсивность взрыва максимальна. Считают опасной концентрацию угольной пыли от 112 до 500 г/м^3 . Но взрыв может произойти и при концентрации пыли от 30 до 200 г/м^3 . При концентрации 1500 — 2000 г/м^3 угольная пыль не взрывается.

Наиболее взрывоопасна пыль с частицами крупностью 70 — 100 мкм .

Более мелкая пыль менее взрывоопасна, хотя и имеет большую удельную поверхность; пыль предварительно окисляется (частично сгорает) и дает менее сильные взрывы.

Угли, содержащие более 15 % летучих веществ, являются взрывоопасными. Особо опасные по взрыву угли с выходом летучих веществ более 35 %. Угольная пыль зольностью более 60 % по взрыву не опасна, то же относится к влажной пыли, которая не может подняться в воздух.

Взрыв пыли начинается с детонации (небольшой взрыв газа), после чего пыль поднимается в воздух, смешивается с ним и происходит сильный взрыв. Наличие во взрывоопасной смеси пыли с воздухом метана понижает взрывоопасную концентрацию пыли до 20 г/м^3 при содержании 1 % метана и даже до 5 г/м^3 при содержании 3 % метана. В некоторых случаях пыль сгорает медленно (например, в пылевидных топках), но при препятствии на пути горения происходит взрыв.

При взрыве угольной пыли выделяется большое количество ядовитых газов.

Основные причины взрыва пыли:

- наличие открытого огня во взрывоопасной смеси пыли с воздухом (аэрозоль) - неисправности освещений, короткое замыкание электротокков, сварочные работы, курение и т. д.;
- самовозгорание пыли, отлагающейся на перекрытиях, оборудовании, устройствах отопления и др.;
- загорание пыли в транспортных трубах пылеулавливания, особенно сушильных установок;
- производство слесарных работ с образованием искр в пыльных местах.

Опасность взрыва увеличивается при выделении и накоплении метана в бункерах и глухих непроветриваемых местах.

Контрольные вопросы:

1. *Что является основной причиной опасности брикетного производства.*
2. *Основной средой создающей пожаро- и взрывоопасность, является пыль бурого угля, почему.*
3. *Взрываемость пыли.*
4. *Крупность частиц существенно влияет на взрываемость пыли, почему.*
5. *Как влияет концентрация угольной пыли в воздухе на взрываемость.*
6. *Наличие во взрывоопасной смеси пыли с воздухом метана понижает взрывоопасную концентрацию пыли до 20 г/м^3 ; почему.*
7. *Основные причины взрыва пыли.*

3.4.2 Вредное действие пыли и газов на организм человека

Степень вредного воздействия пыли на организм человека зависит от вида пыли (ядовитая и неядовитая), ее размеров и способов воздействия на организм. Пыль, находящаяся в воздухе, может воздействовать на глаза человека, вызывая раздражение, сопровождающееся слезоточивостью и ослаблением зрения. Наиболее опасна пыль негашеной извести, каменноугольного пека, карбида кальция, цемента, действие которой подобно действию щелочи.

Частицы пыли могут оседать на кожу и даже проникать в нее, закупоривая отверстия сальных и потовых желез и вызывая этим воспаления кожи и др.

При вдыхании запыленного воздуха часть пыли задерживается слизистой оболочкой дыхательных путей и вызывает воспалительные процессы носоглотки и бронхов. Наиболее опасна пыль с острыми режущими краями, которая легко проникает в слизистую оболочку и травмирует ее. Пыль, попадая в легкие, оседает там, превращая с течением времени ткань в фибродную (пневмокониоз), которая не участвует в процессе обмена кислорода и углекислого газа. Заболевания в зависимости от вида пыли, попадаемой в легкие, бывают следующие: силикоз при вдыхании кварцевой пыли, антракоз при вдыхании угольной пыли, асбестоз при вдыхании асбестовой пыли и т. д. Весьма вредна кварцевая пыль, содержащая более 10 % SiO_2 .

Свинцовая пыль проникает в организм через дыхательные пути и органы пищеварения и вызывает изменения в нервной системе, крови, сосудах, костях. Свинец и его соединения обычно вызывают хронические отравления. Соединения марганца попадают в организм человека в виде пыли и действуют на центральную нервную систему, а также вызывают изменения в печени, почках, легких и органах кровообращения. Мышьяк ядовит главным образом в соединениях, попадая в организм через пищеварительные и дыхательные пути, он действует особенно сильно на желудочно-кишечный тракт. Ртуть и ее соединения являются сильным ядом, попадают в организм человека через дыхательные пути в виде пыли и паров.

Наиболее вредными являются частицы крупностью более 10 мкм, которые задерживаются верхними дыхательными путями, и частицы крупностью 0,5—5 мкм, которые проникают в легкие и задерживаются там. Частицы же крупностью менее 0,2—0,3 мкм проникают в легкие и удаляются обратно вместе с выдыхаемым воздухом. При большой запыленности воздуха в легких оседает значительная часть пыли, поэтому необходимо контролировать содержание пыли в воздухе, которое определяется санитарными нормами. При концентрации пыли в атмосфере выше санитарных норм разрешается работать в такой атмосфере только с респираторами.

Особенно опасна радиоактивная пыль, которая, попав в организм, будет систематически его разрушать, вызывая тяжелые заболевания (лучевая болезнь). При распаде радиоактивных веществ выделяются γ -, α - и β -лучи, вредно влияющие на живые организмы. Действие этих лучей на организм человека зависит от интенсивности излучения, длительности воздействия, характера радиации и путей воздействия на организм.

При работе с радиоактивными веществами применяются специальные меры охраны (устранение попадания пыли в атмосферу, работа в специальной одежде и др.).

Основные источники образования газов на обогатительных фабриках — сушильные и котельные установки, установки окускования, агломерационные фабрики. Переход серы в SO_2 при сжигании топлива достигает 95%; соотношение между SO_2 и SO_3 составляет от 10:1 до 50:1, т. е. сернистый газ в основном выбрасывается в атмосферу в виде SO_2 . Сернистый газ относится к вредным веществам: он поражает дыхательные пути, отрицательно действует на растительный мир, вызывает высокую коррозионность труб и других металлических изделий. При наличии в трактах движения газов сушильных установок водяных паров он конденсируется в виде H_2SO_4 , вызывая сильную коррозию. Улавливание и очистка от него газов могут осуществляться двояко: с использованием серы для получения серной кислоты и с получением гипса.

Более вредными являются оксиды азота NO_x (NO_2 , NO_3 и т. д.), которые по-

являются в топках вследствие избытка воздуха, повышенной температуры горения, длительного времени пребывания газов при высокой температуре. Наибольшее содержание NO^* отмечено в дымовых выбросах котельных. Предельно допустимое содержание оксидов азота в атмосфере $0,085 \text{ мг/м}^3$. Для уменьшения образования NO_x применяются следующие меры: понижение температуры горения топлива, уменьшение времени пребывания газов при высокой температуре, увеличение интенсивности теплообмена, химические методы, скрубберная промывка, удаление азота из топлива, каталитическое восстановление и др.

Оксид углерода CO (газ без цвета, запаха и вкуса), образующийся в результате неполного сгорания, очень ядовит. Для предотвращения проникновения CO в рабочую атмосферу фабрик устраняют причины его образования, изолируют места образования и транспортирования. Наиболее простой метод очистки газа от CO — сжигание его до CO_2 . Очистку газов от CO можно осуществлять промывкой медно-аммиачным раствором.

Ядовит и сероводород H_2S , который встречается на некоторых обогатительных фабриках и в гнилостных очагах. Сероводород действует на дыхательные пути и глаза с возможным острым и хроническим отравлением. Очистку газов от H_2S осуществляют промывкой содовым раствором Na_2CO_3 .

Углекислый газ CO_2 слабо ядовит, но при большой концентрации опасен для жизни. При содержании 4—6 % CO_2 в рабочей атмосфере дыхание и пульс учащаются, появляется шум в ушах, при содержании 10 % CO_2 наступает обморочное состояние, а при содержании 20—25 % — полное отравление организма наступает через несколько секунд. К другим вредным веществам, реже встречаемым на предприятиях переработки полезных ископаемых, относят хлористый водород, хлор, фтористый водород, кремне-фтористый водород, пары ртути и др.

Контрольные вопросы:

- 1. Степень вредного воздействия пыли на организм человека.*
- 2. Наиболее опасна пыль негашеной извести, почему.*

3. *При работе с радиоактивными веществами применяются специальные меры охраны, какие.*
4. *Основные источники образования газов на обогатительных фабриках.*
5. *Более вредными являются оксиды азота NO_x (NO_2 , NO_3), где они проявляются.*
6. *Какие меры применяют для уменьшения образования NO_x .*
7. *Как осуществляют очистку газов от H_2S .*

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В скором времени технологии, которые широко используются в металлургии в настоящее время, станут непригодными для переработки низкосортного сырья. В связи с этим актуальной становится задача разработки технологий изготовления металлопродукции из вторичного сырья, которое в огромных количествах скапливается на каждом металлургическом предприятии.

Альтернативные методы получения металла, металлургия тонкоизмельченных материалов и ресурсосохраняющие технологии в недалеком будущем получат все более широкое распространение. При этом наличие большого количества тонкофракционных материалов - концентратов глубокого обогащения, а также шламов и пыли приводит к ухудшению процессов агломерации, усложняет окускование сырья.

Возвращение в производство отходов решает не только задачу ресурсосбережения, а и улучшает экологическую обстановку на предприятиях и близлежащих территориях. В последние годы в связи с постоянно возрастающим количеством мелкофракционных промышленных отходов интерес к ним подготовки и использования во многих предприятий существенным образом возрастает.

Литературный и экспериментальный анализ отечественного и зарубежного опыта, показывает высокую эффективность брикетирования при его использовании не только как основного, а и, особенно, в качестве вспомогательного метода окомкования измельченного металлургического сырья.

Поэтому разработка и внедрения передовых, энергосберегающих, эффективных технологий окомкования железосодержащих отходов металлургического производства является перспективной научной задачей.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Елишевич, А. Т. Брикетирование полезных ископаемых / А. Т. Елишевич. - М. : Недра, 1989. - 299 с.
2. Крохин, В. Н. Брикетирование углей / В. Н. Крохин. - М. : Недра, 1984. - 224 с.
3. Равич, Б. М. Брикетирование в цветной и черной металлургии / Б. М. Равич. - М. : Металлургия, 1980. - 232 с.
4. Базилевич, С. В. Агломерация / С. В. Базилевич, Е. Ф. Вегман. – М. : Металлургия, 1967. - 368 с.
5. Справочник по обогащению руд. Т. 2. Основные и вспомогательные процессы / под ред. О. С. Богданова. – М. : Недра, 1974. - 447 с.
6. Коротич, В. И. Теоретические основы окомкования железорудных материалов / В. И. Коротич. – М. : Металлургия, 1966. - 151 с.
7. Бережной, Н. Н. Окомкование тонко-измельченных концентратов железных руд / Н. Н. Бережной, Г. В. Губин, Л. А. Дрожилов. – М. : Недра, 1971. - 176 с.
8. Справочник по обогащению руд черных металлов / С. Ф. Шинкоренко [и др.]. ; под. ред. С. Ф. Шинкоренко. – М. : Недра, 1980. - 527 с.
9. Губский, П. К. Охрана труда и противопожарная защита на углеобогатительных фабриках : учеб. для горных техникумов / П. К. Губский. – М. : Недра, 1986. - 276 с.
10. Накладка и эксплуатация технологических комплексов углеобогатительных фабрик / В. И. Хайдакин [и др.]. – М. : Недра, 1986. - 220 с.
11. Бриллиантов, В. В. Автоматизация производства и контрольно-измерительные приборы : учебник / В. В. Бриллиантов. – М. : Недра, 1989. - 271 с.
12. Филиппов, В. М. Справочник мастера ОТК угольной промышленности / В. М. Филиппов, П. Т. Скляр, Ш. Ш. Кипнис. – М. : Недра, 1987. - 295 с.
13. Новиков, И. С. Охрана окружающей среды / И. С. Новиков. – М. :

Недра, 1984.

14. Справочник по обогащению углей / З. Ш. Беринберг, И. С. Благоев, М. А. Борц ; под ред. И. С. Блогова и др. – М. : Недра, 1984. - 614 с.

15. Самылин, Н. А. Водовоздушное хозяйство углеобогатительных фабрик / Н. А. Самылин, В. С. Бутовецкий. – М. : Недра, 1982. - 197 с.

16. Светличный, П. Л. Справочник энергетика угольных шахт / П. Л. Светличный. – М. : Недра, 1971. - 648 с.

17. Эсезобор, Д. Э. Разработка малоотходной технологии аглодоменного производства : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.16.02 / Д. Э. Эсезобор. – Донецк, Донецкий госуд. техн. ун-т., 1994. – 20 с.

18. Бычков, С. В. Комплексная утилизация железосодержащих мелкофракционных отходов в условиях действующего металлургического завода (Укргипромез, Украина) / С. В. Бычков // МЕТАЛЛУРГИЯ-ИНТЕХЭКО [Электронный ресурс] : сб. докладов междунар. конф. - Режим доступа: http://www.intecheco.ru/doc/sb_met2008.pdf. - Загл. с экрана.

19. Елишевич, А. Т. Брикетирование полезных ископаемых : учеб. пособие для вузов / А. Т. Елишевич. – Киев ; Одесса : Лыбидь, 1990. – 294 с.

20. Супрун, Ю. М. Обезвоживание шламов металлургического производства на фильтр-прессах за рубежом / Ю. М. Супрун // Чёрная металлургия. – 1984. – № 5. – С. 14-23.

21. Раджи, О. И. Совершенствование технологии подготовки и утилизации металлургических шламов : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.16.02 / О. И. Раджи. – Донецк, ДНТУ, 2004. – 21 с.

22. Волков, Ю. П. Технолог-доменщик : справ. и метод. руководство / Ю. П. Волков, Л. Я. Шпарбер, А. К. Гусаров. – М. : Металлургия, 1986. – 261 с.

23. Воскобойников, В. Г. Технология и экономика переработки железных руд : учеб пособие для вузов по специальности "Экономика и организация металлургической промышленности" / В. Г. Воскобойников, Л. П. Макаров. – М. : Металлургия, 1977. – 255 с.

24. Ярхо, Е. Н. Экономическая эффективность подготовки железных руд к плавке / Е. Н. Ярхо. – М. : Metallurgiya, 1974. – 96 с.
25. Мироненко, П. Ф. Методика металлургической оценки качества марганцевого сырья по его химическому составу / П.Ф. Мироненко [и др.] // Сталь. – 2000. – № 8. – С. 29-31.
26. Садовой, М. І. Визначення раціональних параметрів для отримання багатокomпонентних брикетів / М. І. Садовой, О. М. Корчевський, А. Н. Сурженко // Донбас-2020: перспективи розвитку очима молодих вчених. - 2014. - С. 191-196.
27. Садовой, М. І. Розробка параметрів для отримання багатокomпонентних брикетів із застосуванням твердого та рідкого зв'язуючого / М. І. Садовой, О. М. Корчевський // Технології та процеси в гірничій справі і будівництві. - 2014. - С. 28-33.
28. Державна служба статистики [Електронний ресурс] : офіційний сайт Державного комітету статистики України. - Режим доступу: www.ukrstat.gov.ua. - Загл. з екрану.
29. Зарічанська, Є. В. Оцінка економічних умов ефективного поводження з промисловими відходами / Є. В. Зарічанська // Вісник Хмельницького національного університету. Економічні науки. - 2010. - № 3. Т. 1. - С. 56-59.
30. Скороход, І. С. Світовий досвід використання вторинних ресурсів / І. С. Скороход // Науковий вісник Волинського державного університету ім. Лесі Українки. Економічні науки. – 2007. – № 12. – С. 229–233.
31. Вегман, Е. Ф. Окискование руд и концентратов / Е. Ф. Вегман. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Metallurgiya, 1984. – 256 с.
32. Тюренков, Н. Г. Брикетирование руд / Н. Г. Тюренков. – М. : Металлургиздат, 1948. – 128 с.
33. Равич, Б. М. Комплексное использование сырья и отходов / Б. М. Равич [и др.]. – М. : Химия, 1988. – 287 с.
34. Буторина, И. В. Утилизация промышленных и бытовых отходов / И. В. Буторина. – Мариуполь : Стратегия, 1999. – 150 с.

35. Равич, Б. М. Брикетирование руд / Б. М. Равич. – М. : Недра, 1982. – 183 с.
36. Пфлинсен, Х. Д. Применение брикетированных металлургических пылей в конвертерах ТМВ фирмы «Тиссен шталь» / Х. Д. Пфлинсен, В. Флорин, Р. Хефкен // Чёрные металлы. – 1989. – № 7. – С. 3-6.
37. Равич, Б. М. Брикетирование в цветной и черной металлургии / Б. М. Равич. - М. : Металлургия, 1975. - 232 с.
38. Лурье, Л. А. Брикетирование в цветной и черной металлургии / Л. А. Лурье. - М. : Металлургия, 1963. - 324 с.
39. Словарь иностранных слов. - 18-е изд., стер. - М. : Рус. яз., 1989.- 620 с.
40. Базилевич, С. В. Производство агломерата и окатышей : справ. изд. др / С. В. Базилевич [и др.]. -М. : Металлургия. - 1984. - 216 с.
41. Дрожилов, Л. А. Современная технология производства железорудных окатышей / Л. А. Дрожилов [и др.] // Черная металлургия. - 1973. - № 2. – С. 3-17.
42. Ожогин, В. В. Основы теории и технологии брикетирования измельчённого металлургического сырья : монография / В. В. Ожогин. – Мариуполь : ПГТУ, 2010. – 442 с.