

А.Т. Елишевич

БРИКЕТИРОВАНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

*Допущено Государственным комитетом СССР
по народному образованию в качестве учебника
для студентов вузов, обучающихся по специальности
«Обогащение полезных ископаемых»*



МОСКВА "НЕДРА" 1989

ББК 33.4
Е 51
УДК 622.788.32:622.33 (075.8)

Рецензенты: кафедра обогащения полезных ископаемых Днепропетровского горного института; д-р техн. наук *И. Е. Святец*

Е $\frac{250400000-362}{043(01)-89}$ 327-89

ISBN 5-247-01193-7

© Издательство «Недра», 1989

ПРЕДИСЛОВИЕ

В Постановлении ЦК КПСС и СМ СССР «О мерах по коренному улучшению качества подготовки и использования специалистов с высшим образованием в народном хозяйстве» признано, что высшая школа должна оказывать все возрастающее воздействие на ускорение социально-экономического развития страны, динамичное преобразование экономики, повышение роли человеческого фактора.

Осуществляемый в настоящее время перевод производства на качественно новую техническую основу требует коренного улучшения профессиональной подготовки специалистов. Необходимо обеспечить подготовку специалистов, имеющих глубокую профессиональную компетентность, стремящихся к постоянному углублению и обновлению своих знаний. Очень важно, чтобы специалист мог бы инициативно и ответственно решать задачи научно-технического прогресса и социальные проблемы, связанные с развитием производительных сил страны и охраной окружающей среды. Этому во многом должно способствовать издание учебников, отвечающих современным требованиям программ высшей школы.

Полученные знания из спецкурса «Брикетирование полезных ископаемых», основанного на материалах данного учебника, помогут будущим специалистам глубоко и полно разобраться во всех вопросах теории и практики брикетирования. В первую очередь будут способствовать быстрому и качественному овладению принципами современных технологий, решению задач по изысканию новых высокоэффективных связующих, совершенствованию технологического оборудования, созданию автоматизированной системы управления отдельными процессами и в целом брикетной фабрикой, а также достижению высоких технико-экономических показателей.

Данный учебник является первым изданием, охватывающим все аспекты брикетирования в соответствии с требованиями учебной программы высшей школы. Он подготовлен на материалах научных разработок и практического опыта автора с использованием научно-технической информации по брикетированию, изданной в нашей стране и за рубежом.

ВВЕДЕНИЕ

Экономное и рациональное использование сырьевых ресурсов, стимулирующее рост промышленного производства, является одним из основных требований, выдвигаемых Партией и Правительством на данном этапе перестройки народного хозяйства. Один из прогрессивных методов в решении этой проблемы — окускование.

Окускование — это превращение мелкозернистых полезных ископаемых в кусковой продукт за счет механических и (или) термических воздействий с применением специальных добавок или без них. Одной из разновидностей окускования является *брикетирование* — физико-химический процесс переработки полезных ископаемых, позволяющий получить механически и термически прочный сортовой продукт — брикет, имеющий определенную геометрическую форму, размеры и массу. Утилизация тонкозернистых полезных ископаемых, возможность получения из них высококачественной продукции для бытового и промышленного потребления — главное назначение брикетирования.

От других способов окускования (агломерация и окатывание) брикетирование отличается простотой процесса и дешевизной. Подтверждением тому служат сравнительные данные (в %) трех способов окускования железных руд:

Способ	Брикетирование	Агломерация	Окатывание с обжигом
Себестоимость	100	120—170	110—150
Затраты на 1 т переработки сырья	100	130—160	90—140
Удельные капитальные затраты .	100	110—200	120—180

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, стиранию 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.

Брикетирование углей осуществляется двумя способами: со связующими (каменные и старые бурые угли, антрациты, коксовая мелочь) *и без связующих* (молодые бурые угли).

Брикетирование как обособленный технологический процесс окисления 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.

История отечественного углебрикетного производства берет свое начало в середине XIX столетия. В 1870 г. в Одессе была сооружена первая брикетная фабрика, выпускавшая антрацитовые брикеты для судов торгового флота. После Великой Октябрьской социалистической революции строятся новые фабрики в Донбассе, Подмосковном угольном бассейне, Средней Азии, на Дальнем Востоке.

В начале 30-х годов вводится в эксплуатацию Моспинская каменноугольная и Украинская буроугольная брикетные фабрики. Реконструируются несколько старых углебрикетных фабрик в Донбассе. После Великой Отечественной войны восстанавливаются в более крупном масштабе ранее действовавшие каменно- и буроугольные брикетные фабрики. Строятся новые буроугольные фабрики на Украине, в Башкирии, на Дальнем Востоке и в других районах страны. В 1960 г. вводится в эксплуатацию крупная брикетная фабрика «Донецкая» для брикетирования антрацитовых штыбов. Одновременно осуществляется строительство мелких брикетных фабрик и установок в системе местной топливной промышленности на Украине и в РСФСР.

В планах нынешней пятилетки и на перспективу предусматривается строительство новых брикетных фабрик на Севере, в Канско-Ачинском и Экибастузском угольных бассейнах, реконструкция фабрик на Украине и в Башкирии. Осуществляется строительство установок по брикетированию шихты для коксования и коксовой мелочи при коксохимических заводах, а также отсевов угля на сортировках. Разрабатываются проекты получения «бездымных» (термообработанных) брикетов для бытового потребления.

Широко развито брикетирование угля за рубежом (ГДР, ПНР, ВР, СРР, США, Японии, Франции, Великобритании, ФРГ и другие страны). Современные брикетные фабрики оснащаются высокопроизводительным автоматизированным оборудованием. Создаются линии по автоматической дозировке и упаковке брикетов. Внедряются технологии по выпуску бездымных брикетов.

Торфобрикетное производство позволяет значительно сократить расход дефицитной древесины как коммунально-бытового топлива.

Первый завод по брикетированию торфа в нашей стране был построен в 1891 г. на торфяном месторождении «Гладкое». Брикетировали кусковой резной торф, который подвергался дроблению, сушке и прессованию в одноштемпельных паровых прессах. В советское время брикетирование торфа получило широкое развитие, чему в немалой степени способствовало личное внимание к этой проблеме В. И. Ленина. Строятся торфобрикетные заводы в Белоруссии, на Украине, в РСФСР. В настоящее время брикетирование торфа не утратило своего значения. В перспективе намечается реконструкция действующих заводов и строительство новых на базе торфяных месторождений Западной Сибири, Дальнего Востока и других районов страны. Производительность современных заводов возрастает до 50—60 тыс. т/год брикетов.

Брикетирование руд и отходов металлургического производства — высокоэкономичный процесс, успешно конкурирующий с

агломерацией и окатыванием. 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 выплавленного 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.

Брикетирующие руд и рудосодержащего сырья осуществляет-ся со связующими веществами органического и неорганического происхождения, а также без связующих веществ.

Первые небольшие установки по брикетированию руд в нашей стране появились еще в 80-х годах прошлого столетия. На металлургических заводах Урала действовали установки по брикетированию железных руд с помощью гашеной извести и других связующих. В южных районах страны брикетное производство развивалось при Таганрогском и Керченском металлургических заводах. Здесь действовали две крупные фабрики для получения железорудных брикетов. Особую актуальность брикетирование мелких железных руд приобрело в период 1930—1940 гг., когда завершалась реконструкция старых металлургических заводов. В это же время начала работать первая фабрика по производству брикетов из никелевых руд. Вводится в строй опытная фабрика для брикетирования сульфидных руд.

В настоящее время в нашей стране брикетные фабрики и установки действуют на ряде металлургических заводов черной и цветной металлургии.

За рубежом наибольшее развитие брикетирование руд получило в ГДР, ПНР, Югославии, Кубе, США, Канаде, Японии, Франции и ФРГ.

Перспективные планы развития народного хозяйства ставят важные задачи совершенствования брикетного производства. В первую очередь это изыскание простых и эффективных методов повышения доли и качества выпускаемых торфяных и бурогольных брикетов. Расширение областей их использования не только как энергетического и бытового топлива, но и сырья для металлургического процесса, полукоксования, химической переработки. Возникает необходимость расширения географии брикетирования торфа и бурых углей за счет их компаундирования с неспекающимися каменными углями и даже биомассой. Такой подход дает возможность значительно улучшить топливо-

снабжение бытового и промышленного потребителя, укрепить топливно-энергетическую базу страны.

Брикетирование каменноугольной мелочи со связующими должно найти свое дальнейшее развитие в создании новых технологий брикетирования композиционных смесей энергетических и коксующихся углей. Особая задача для каменноугольного брикетирования — изыскание недефицитных, дешевых, нетоксичных и многотоннажных связующих, привлечение для этих целей связующих минерального происхождения, а также разработка специальных добавок, улучшающих механические и термические свойства брикетов. Важное место в брикетировании каменных углей занимает новое направление по их окускованию перед коксованием. При этом в коксовой шихте могут быть использованы неспекающиеся марки каменных углей. Брикетирование обеспечивает максимально тесный контакт частиц угля и их уплотнение в брикете. Это, в свою очередь, увеличивает разовую загрузку камер коксовых батарей, повышает их производительность, улучшает механические свойства кокса.

Брикетирование руд, их концентратов и тонкодисперсных отходов металлургического производства позволяет значительно расширить сырьевые ресурсы в цветной и черной металлургии. Окускование сырья способствует более благоприятному течению металлургического процесса, выплавке металла повышенного качества, снижению потерь производства. Особо велика роль брикетирования в электрометаллургии, где окускование позволяет не только резко улучшить качество металла, но и значительно сократить расход электроэнергии. Брикетирование открывает возможность внедрения новой прогрессивной технологии прямого восстановления железа, минуя доменный процесс. Значительные технологические преимущества дает брикетирование компаундированных смесей железной руды, углеродистого восстановителя и флюсов — связующих. Последние играют важную роль как сырьевая добавка для металлургической плавки.

Изыскание эффективных связующих — флюсов является одной из основных задач современного рудного брикетирования. Перспективными считаются технологии брикетирования полезных ископаемых в пластическом состоянии при высоких температурах нагрева. Большие технологические и экономические выгоды сулит термическая обработка брикетов, позволяющая получить высокосортное кусковое топливо и сырье для специальных металлургических плавок.

Таким образом, брикетирование — одно из перспективных производств, обеспечивающих высокий потенциал топливно-энергетического комплекса, металлургии черных и цветных металлов, утилизации отходов различных производств, в том числе сельского хозяйства и биотехнологии.

В качестве сырья для брикетирования используют различные угольные, рудные и другие мелкозернистые твердые вещества. Окускование осуществляется с помощью связующих и без них.

Полезные ископаемые, подлежащие брикетированию, обладают определенными специфическими свойствами, используя которые советский ученый Л. А. Лурье создал *классификацию различных материалов по их брикетирующей способности*. Все полезные ископаемые делятся на две основные группы — А и Б.

Группа А представлена полезными ископаемыми и отходами, брикетируемыми без связующих веществ. Группа А имеет четыре подгруппы:

подгруппа а — это материалы, содержащие в своем составе компоненты с цементирующими свойствами (глина, сульфиды 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, шпиритные огарки);

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

К группе Б 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 Б 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).

1.1. УГЛИ, АНТРАЦИТЫ И ТОРФЫ

Угли относятся к высокомолекулярным соединениям, образованным в результате глубоких реакций конденсации различных химических группировок, входящих в состав отмерших растений. Основу структурных звеньев макромолекул угля составляют конденсированные ядра, имеющие боковые цепи. Степень конденсированности ядер возрастает в процессе углефикации. Она максимальная у антрацитов. Боковые связи, содержащие основную массу азота, кислорода и серы, определяют реакционную способность углей. Их число закономерно уменьшается от бурых углей к антрациту.

В петрографическом отношении угли — это смесь различных микропетрографических компонентов. Они представляют собой видимые только под микроскопом образования, возникшие в результате превращения растительных тканей в условиях анаэробного разложения в процессе метаморфизма. Углефикация (метаморфизм) тесно связана с горно-геологическими процессами изменения растительного вещества в условиях его накопления, обводненности, активности химических реакций, давления и температуры.

Особое влияние на процессы структурообразования брикетов оказывают витринит и фюзинит. Содержание витринита в углях составляет 60—80%, иногда 90%. Оно закономерно увеличивается от бурых углей к антрацитам с одновременным изменением основных свойств. В малометаморфизованных углях витринит характеризуется максимальным (до 40%) выходом летучих веществ. В углях средней степени метаморфизма ему присущи повышенная спекаемость и трещиноватость. Зольность витринита минимальна (1—3%). Минеральные вещества этого микрокомпонента представлены соединениями натрия, калия, кальция и других щелочноземельных металлов. В витрините содержится до 5—6% водорода, около 17% кислорода и более 78% углерода.

Содержание фюзинита в углях составляет не более 5—10%, но иногда достигает 60% и более. Фюзинит снижает брикетирующую способность углей и ухудшает горение брикетов. Он почти не спекается. Обладает низкой поверхностной активностью. Полностью изотропен. Температурные воздействия не изменяют его структуры. Фюзинит легко истирается в сажистый порошок, состоящий из летучих веществ (8—12%) и минеральных примесей (88—92%). Содержание водорода, кислорода и углерода в нем соответственно составляет 3, 6 и 90%.

Угли в зависимости от физико-химических свойств и возможности использования делят на различные марки и группы, которые определяют их промышленную классификацию. В Советском Союзе в соответствии с ГОСТ 25543—82 разработана комплексная классификация бурых, каменных углей и антра-

цитов. По новому стандарту все угли разделены на виды, классы, категории, типы, подтипы, кодовые номера, технологические марки, группы и подгруппы.

По видам угли бывают бурые, каменные и антрациты. Они оцениваются показателем отражения витринита R_0 (%), теплотой сгорания Q^{daf} (кДж/кг) и выходом летучих веществ V^{daf} (%).

Классы углей характеризуются в зависимости от степени метаморфизма по показателю отражения витринита R_0 . Всего имеется 61 класс углей.

На категории углей распределяются в зависимости от их молекулярной структуры, состава и других природных особенностей. Показатель категории соответствует сумме фюзенизированных компонентов $\sum OK$ (%).

Тип углей определяется по максимальной влагоемкости W^{daf} (%) для бурых углей, выходу летучих веществ V^{daf} (%) для каменных углей и объемному выходу летучих веществ $V_{об}^{daf}$ (см³/ч) для антрацитов.

Подтип углей связан с выходом смолы полукоксования T_{Sk}^{daf} (%) для бурых углей; толщиной пластического слоя y (мм) и индексом Рога RI для каменных углей; анизотропией отражения витринита A_R (%) для антрацитов.

Все угли обозначаются семизначным кодовым числом. Первые две цифры указывают класс, характеризуемый средним значением R_0 , умноженным на 10. Третья цифра указывает категорию по значению $\sum OK$, умноженному на 10. Четвертая и пятая цифры характеризуются для бурых углей показателем W^{daf} , для каменных углей V^{daf} , для антрацита $V_{об}^{daf}$. Шестая и седьмая цифры указывают подтип, характеризуя бурый уголь показателем T_{Sk}^{daf} , каменный уголь y и RY и антрацит A_R . Угли отдельных кодовых номеров объединены в 14 марок, 25 групп и 44 подгруппы. Бурый уголь имеет одну марку Б, три группы и четыре подгруппы. Каменный уголь представлен 12 марками, 19 группами и 34 подгруппами. Антрацит имеет одну марку, 3 группы и 6 подгрупп.

Бурые угли характеризуются невысокой теплотой сгорания (не более 24 000 кДж/кг) и высоким содержанием влаги (25--40%, иногда 60%).

Каменные угли имеют теплоту сгорания более 24 000 кДж/кг и выход летучих веществ более 9%. Они подразделяются на марки, которым присвоены следующие названия и обозначения: длиннопламенный — Д, газовый — Г, газовый жирный — ГЖ, жирный — Ж, коксовый — К, коксовый жирный — КЖ, коксовый второй — К2, отощенный спекающийся — ОС, тощий — Т, слабо-спекающийся — СС.

Антрациты имеют теплоту сгорания более 35 000 кДж/кг и выход летучих веществ менее 9%.

По технологической принадлежности угли делят на коксую-

щиеся, используемые исключительно для коксования (К, Ж, ОС и низкосернистые Г) и энергетические, идущие для целей энергетики и бытового потребления (Д, Г, Т и А).

Угли состоят из органической массы и минеральных примесей. Органическая масса угля представлена в основном четырьмя элементами: углеродом, водородом, кислородом, азотом. Сера содержится в небольших количествах и является вредной примесью. Минеральные примеси характеризуют *зольность угля* — остаток, образовавшийся после сгорания всех горючих веществ. Зольность углей колеблется от 3 до 40%.

К основным физическим свойствам углей, которые должны быть учтены при брикетировании, относят:

пористость, определяющую гигроскопичность углей и характер диффузии связующих. Угольные поры по среднему диаметру и внутренней поверхности делят на макро- и микропоры. Указанные параметры для макропор соответственно равны $5 \cdot 10^{-8}$ м и $1 \text{ м}^2/\text{г}$, для микропор — $(5-15) \cdot 10^{-10}$ м и $200 \text{ м}^2/\text{г}$;

дробимость, определяющую способность углей сопротивляться разрушению под действием дробящих тел. Коэффициент дробимости устанавливают как отношение размеров кусков до и после дробления. Для углей различных марок он колеблется от 0,4 до 0,95;

хрупкость — способность углей разрушаться от механических воздействий, исключающих прямое действие дробящих тел. По ней оценивают поведение угля при прессовании;

смачиваемость характеризует интенсивность растекания связующих по угольной поверхности.

Для брикетирования используют бурые угли, мелочь каменных углей и антрацитов.

1.1.1. Бурые угли

Бурые угли в зависимости от физико-механических и физико-химических свойств делят на землистые молодые и плотные зрелые. Это деление связано с влиянием диагенеза, метаморфизма и петрографического состава. С увеличением содержания в бурых углях витринита возрастают их влажность, теплота сгорания и выход низкотемпературной смолы. Бурые угли в отличие от каменных содержат гуминовые и карбоксильные кислоты. Их количество закономерно уменьшается от землистых к зрелым, определяя коллоидное старение угольного вещества. В структурном отношении бурые угли принято рассматривать как макромолекулярный полимер.

Важнейшая характеристика бурых углей — способность к *пластическим деформациям*, которые определяют *брикетирующие свойства угля*. Пластичность зависит от стадии метаморфизма и «коллоидного старения» бурых углей. Здесь важнейшая роль принадлежит влаге, находящейся в органическом веществе угля.

Влага как дисперсионная среда существенно влияет на взаимосвязь с дисперсной фазой — угольным веществом. Интенсивность этого взаимодействия в конечном итоге определяет брикетируемость бурого угля.

Формы связи влаги с бурыми углями бывают химические, физико-химические, физико-механические. Химически связанная влага выделяется при температуре выше 125°C . Она образована за счет превращений карбо- и гидроксильных групп гуминовых кислот. Содержание химически связанной воды не превышает 3%. Физико-химическая связь воды обусловлена ее адсорбцией на внешней и внутренней поверхности бурого угля. Адсорбционно-связанная влага отличается по своим свойствам от свободной влаги. Интенсивность этих перестроек убывает по мере удаления водных монослоев от угольной поверхности. Физико-механическая связь влаги определяется коэффициентом поверхностного натяжения жидкости и капиллярным давлением. По ним можно оценивать поднятие воды в капиллярах и интенсивность ее связи с углем.

1.1.2. Каменные угли и антрациты

Длиннопламенные и газовые угли относятся к малометаморфизованным. Для них характерно наличие в макромолекулах длинных гибких цепей, связывающих углеродные сетки. Это предопределяет большую внутреннюю поверхность, т. е. пористость, которая способствует адсорбции влаги и закономерно уменьшается от длиннопламенных к газовым углям.

Удержанию влаги в малометаморфизованных углях способствует наличие в их макромолекулах большого числа функциональных групп. В результате влажность достигает 16% и более.

Рассматриваемые угли характеризуются невысокими пластическими свойствами. Толщина пластического слоя длиннопламенных углей близка к нулю, но никогда не превышает 5 мм. У газовых углей этот показатель выше и составляет 5—15 мм. По этой причине для обеспечения устойчивого горения брикетов рекомендуется смешивать длиннопламенные угли с газовыми. Эти угли отличаются повышенным химическим потенциалом при нагревании (выход летучих веществ составляет 35% и более). В них содержится большое количество водорода и кислорода, но минимальное углерода по сравнению с другими каменными углями. Они характеризуются смолистым и тускло-стеклянным блеском, раковистым и крупноступенчатым изломом. Содержат большое количество фюзена. Твердость по шкале Мооса не превышает 2,75. Механическая прочность находится в пределах 5—8 Н/см².

Тощие угли (марка Т) и антрациты (марка А) относятся к углям высшей стадии метаморфизма. Им присущи высокая плотность ароматических ядер и большое физическое притяжение

между собой. В них отсутствуют боковые цепи и функциональные группы, значительно уменьшается содержание летучих веществ. Особенно заметны эти изменения в антрацитах, в которых происходит коренная перестройка структуры угольного вещества.

Для тощих углей и антрацитов характерна повышенная пористость. В отличие от малометаморфизованных углей их пористость связана не со структурными особенностями макромолекул, а со старением угольного вещества. В результате старения происходят глубокие изменения в химическом составе: уплотняются внутримолекулярные фрагменты макромолекул аналогичного усыханию коллоида. Появляются глубокие и крупные трещины. Увеличиваются внутренняя поверхность и диффузионное поглощение влаги. Влага в порах и трещинах закрепляется слабо, в основном за счет капиллярного давления. Содержание летучих веществ, водорода и кислорода в этих углях минимально, но максимально углерода.

Угли марок Т и А имеют блеск от алмазного до металлического, гладкую поверхность, пониженную шероховатость. В петрографическом отношении эти угли представлены в основном витринитом, частично лейптинитом. В них практически отсутствует фюзенит. Высокометаморфизованные угли отличаются хорошей брикетирующей способностью. Твердость по шкале Мооса у углей марки Т 2,35, марки А 3,5—3,75, механическая прочность соответственно 10 Н/см^2 и более и менее 3 Н/см^2 .

1.1.3. Торф

В большинстве случаев для брикетирования применяют *фрезерный торф*. Он характеризуется нормируемыми и дополнительными качественными показателями. К первой группе относятся влажность, зольность, плотность насыпной массы и засоренность посторонними горючими. Ко второй — тип, вид, ботанический состав и степень разложения торфяной залежи, гранулометрический состав, доля несмерзающей и смерзающей влаги, теплоемкость, пористость, склонность к самовозгоранию и теплота сгорания.

Торфяное месторождение имеет несколько слоев. Слои (виды) отличаются по ботаническому составу остатков растений — торфообразователей и степени разложения. Отдельные слои (виды) в зависимости от условий торфообразования создают торфяную залежь. Различают четыре типа торфяных залежей: низинный, переходный, смешанный и верховой. Степень разложения торфа колеблется от 5 до 70%. Обычно для производства брикетов используют как залежи низинного, так и верхового типов. Наиболее эффективно брикетируется торф средней и повышенной степени разложения (30% и более).

Различают относительную, абсолютную и равновесную влажность торфа. Первый показатель позволяет вести учет массы и

качества торфа между поставщиком и фабрикой. *Абсолютная влажность* выражается в килограммах на 1 кг сухого вещества. Она характеризует влагосодержание, по которому устанавливают массу вещества конкретного образца торфа. *Равновесной влажностью* называется влажность торфа, при которой заводская себестоимость брикетов получается минимальной. Для различных типов торфа, поступающего на брикетирование, она колеблется в пределах 40—50%.

Зольность верхового торфа составляет 2—4%; низинного — 5—14%.

Гранулометрический состав торфа существенно влияет на брикетирование. Поэтому уже при добыче желательно оставлять его на полях крупностью не более 10—25 мм. Это позволяет обеспечить равномерную сушку всех частиц до примерно одинаковой влажности. В торфе не должна быть большая доля тонких пылевидных частиц, затрудняющих его брикетирование.

В процессе добычи торф засоряется древесно-гнилым материалом, затрудняющим его подготовку к брикетированию и снижающим прочность брикетов. *Засоренность торфа* определяется как процентное отношение массы посторонних включений (крупность более 25 мм) к общей массе торфа. Допускается наличие в сухом торфе не более 10% такого материала.

Торф при хранении в полевых условиях склонен к *самовозгоранию*. Если в штабеле высотой 1,5—2 м количество накапливаемого тепла в 2,5—3 раза превышает его отдачу в атмосферу, то начинается интенсивное самовозгорание. Как правило, оно не влияет отрицательно на брикетирование торфа. Иногда даже способствует лучшему прессованию и повышению водоустойчивости брикетов. Опасность для брикетных заводов вызывает сырье с прямыми очагами горения. В целях недопущения самовозгорания необходимо соблюдать *равновесное влагосодержание* в торфе. Последнее соответствует такому состоянию, когда количество испаряемой влаги с поверхности торфа соответствует количеству влаги, адсорбируемой из атмосферы. Этот показатель также важен для процесса сушки на торфобрикетном заводе.

1.2. РУДЫ И ИХ КОНЦЕНТРАТЫ

Наиболее часто брикетируют железные, марганцевые, хромовые, медные, никелевые и цинковые руды и их концентраты, а также различные отходы металлургического производства.

1.2.1. Железные руды

Железные руды делятся на три основных типа: магнетиты, гематиты и бурые железняки.

Магнетит Fe_3O_4 содержит до 72,4% железа. При окислении он переходит в более высокую форму железного оксида Fe_2O_3 , называемого мартитом. В магнетите в качестве примесей

присутствуют пирит и цинк. Магнетиты относятся к категории трудно восстанавливаемых руд с плотной кристаллической структурой. Иногда магнетитовые руды встречаются в виде сростков с ильменитом, образуя титаномагнетитовые залежи (общая формула $\text{Fe} \cdot \text{TiO}_3 \cdot \text{Fe}_3\text{O}_4$).

Гематиты — безводные оксиды железа Fe_2O_3 содержат до 70% железа. При окислении гематиты переходят в мартиты. Для гематитов характерно разнообразие структур от плотных кристаллов до слабых порошков. Основная форма — природный красный железняк. Гематитовые руды легко восстанавливаемы, содержат вредные примеси в небольших количествах.

Бурые железняки — водные оксиды железа (общая формула $m\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), в которых его содержание достигает 52—66%. К ним относятся лимониты $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ или $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, ксантосидериты $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, гетиты $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, турьиты $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Структура этих руд различна. Она изменяется от плотного строения до рыхлого, даже пылеобразного. Руды легко восстанавливаемы, обладают повышенной пористостью. Без брикетирования или другого метода окускования бурые железняки не могут быть использованы в металлургическом процессе.

При брикетировании железных руд следует обращать особое внимание на присутствие в них вредных примесей. Сера в процессе плавки, взаимодействуя с железом, образует сульфиды. Она отрицательно влияет на качество металла. Содержание марганца в железорудных брикетах не должно превышать 0,006% на 1% железа, фосфора — не более 0,09%. Так же вредны мышьяк и цинк. Примеси в брикетах, оказывающие благотворное влияние на процесс плавки — оксиды CaO и MgO , ванадий, медь, никель, хром.

Кроме основного сырья — железной руды — для брикетирования используют отходы производства, содержащие железо: колошниковую пыль, пиритные огарки, окалину и др. Колошниковая пыль — это механическая смесь пылевидных продуктов доменного производства. В ней содержание железа достигает 40—55% при попутной концентрации до 15% углерода и некоторой доли извести. По гранулометрическому составу колошниковая пыль представляет собой благоприятную для брикетирования смесь зерен крупностью менее 0,05 мм (до 15—20%), 0,05—0,3 мм (до 70—80%) и более 1—2 мм (не выше 2—6%).

Пиритные огарки — это измельченные отходы сернокислотного производства, содержащие до 40—60% железа, 1—5% остаточной серы и некоторую долю цветных металлов. Пиритные огарки по своему химическому составу и физической характеристике различны. Брикетируют обычно углистые огарки, огарки из колчеданов и флотационные отходы. Перед брикетированием

пиритные огарки подвергают обессериванию и удалению металлических примесей.

Окалина — продукт прокатки, состоящий в основном из чистого оксида железа. Она представляет собой тонкий порошок или мелкие чешуйки, содержание до 70% железа. Окалину брикетируют в смеси с рудной мелочью и колошниковой пылью. Для брикетирования пригодны также шлаки доменных и сталеплавильных печей, содержание до 12% железа и более 40% CaO.

1.2.2. Марганцевые руды

К промышленным марганцевым рудам относят пиролюзит, мангалит, псиломелан и родохрозит.

Пиролюзит (безводный пероксид марганца MnO_2 — наиболее устойчивая форма соединения марганца. В этих рудах марганца содержится до 50%.

Манганит (водный оксид марганца) $MnOOH$. Он содержит марганца до 40—50%. К водным оксидам марганца относится также псиломелан $MnO \cdot MnO_2 \cdot nH_2O$, включающий в рудное вещество 54% марганца.

По физическим свойствам марганцевые руды близки к железным. В структурном отношении они в основном рыхлые и мягкие, редко плотные и крепкие. Для брикетирования следует применять марганцевые руды с минимальным содержанием вредных примесей SiO_2 и фосфора.

1.2.3. Хромовые руды

Промышленной хромовой рудой является хромистый железняк (хромит) $FeO \cdot Cr_2O_3$. Большая часть хрома находится в кислородных соединениях типа хромшпинелидов: магнохромит $(Mg, Fe)Cr_2O_3$, хромпикотит $(Mg, Fe)(Cr, Al)_2O_4$, алюмохромит $Fe(Cr, Al)_2O_4$. В этих соединениях содержание Cr_2O_3 колеблется от 35 до 65%. Брикетированию подвергают руды, содержащие не менее 38—40% Cr_2O_3 .

1.2.4. Руды цветных металлов

Медные руды считаются промышленно пригодными для брикетирования, если содержание Cu в них не ниже 0,6—0,8. Наиболее распространено брикетирование медистого колчедана (ковеллина, халькопирита, халькозина), цементной меди и отходов металлургического производства.

Никелевые руды включают в себя соединения с железом, серой и другими элементами. В большинстве случаев эти руды представлены рыхлой глинообразной массой. Для брикетирования наиболее пригодны сульфидные руды (пентландит $(NiFe)S$; миллерит NiS и пирротин FeS), содержащие никель в количествах не менее 0,3—5,5%. Иногда окусковывают окисленные руды, в которых содержание основного металла не превышает

1—1,5%. Эти руды имеют глинообразную, пластичную структуру с высоким содержанием Al_2O_3 , MgO , SiO_2 и железистых соединений.

Брикетированию подвергают цинковые руды, в частности, сфалерит — цинковую обманку, содержащую до 67% цинка, а также титановые руды, встречающиеся в виде минералов ильменита $\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$, рутила TiO_2 , сфена $\text{CaTi}(\text{SiO}_4)$, титаномагнетита $\text{Fe} \cdot \text{TiO}_2 \cdot \text{Fe}_3\text{O}_4$.

Сурьмяные руды, подвергаемые брикетированию, представлены сурьмяным блеском Sb_2S_2 , валентинитом Sb_2O_3 , их концентратами, а также пылевыми продуктами — отходами производства. Содержание сурьмы в рудах колеблется от 10 до 20%.

1.2.5. Руды легких металлов

Сюда прежде всего следует отнести руды, содержащие алюминий — бокситы, нефелины, алуниты, каолины и глины. Важнейшая алюминиевая руда — бокситы. В них присутствуют в виде нежелательных примесей SiO_2 , TiO_2 , карбонаты, оксиды железа, фосфор и другие вещества. Брикетируют алюминиевые руды с целью получения глинозема, силикоалюминия (сплав из отмученного каолина, глинозема и кварца в смеси с углеродистым восстановителем) и силумина (сплав силикоалюминия с чистым электролитическим алюминием).

Брикетирование доломитовых руд позволяет получать продукты, содержащие магний, а также утилизировать доломитовую мелочь при обжиге в шахтных печах. Доломит — двойной карбонат кальция и магния $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ содержит в качестве примесей глины и известняк, выполняющие роль связующих.

1.3. СВЯЗУЮЩИЕ ВЕЩЕСТВА

Вещества, способные соединять разобращенные твердые тела и сохранять их прочный контакт в условиях значительных внешних воздействий, называются связующими (клеями, адгезивами). 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 отвердения;

не содержать летучих соединений, токсически 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.

1.3.1. 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 состоянии — жидкости. Оценка 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 прессо-

вания. Температура размягчения определяется стандартными методами «Кольцо и шар» или «Кольцо и стержень».

Пенетрация — это величина, характеризующая твердость связующих. Она определяется при заданной температуре (чаще 25° С) по степени проникновения в связующее стандартной иглы. Единица пенетрации равна 0,1 мм.

Растяжимость — это способность связующих вытягиваться в нити при определенной температуре (чаще 25° С). 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 клеящую способность.

В химическом отношении связующие представляют собой гетероорганические высокомолекулярные соединения (ВМС). Они имеют сложный состав и структуру, образованные из углеводородов и их неметаллических производных. Углеводородные комплексы (масла, смолы, асфальтены) определяют групповой химический состав органических высокомолекулярных связующих.

Масла — наиболее низкомолекулярные углеводородные гидриды. 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—300° С 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 карбонов и карбоидов, а также свободные кислоты. Карбоны и карбоиды нарушают у связующих однородность, но повышают спекаемость. Кислоты способствуют усилению поверхностной активности адгезивов.

В структурно-химическом отношении органические ВМС-связующие занимают среднее положение между аморфными и аморфно-кристаллическими соединениями. *Степень аморфности* (кристалличности) структуры связующих определяется отношением асфальтенов к мальтенам, ароматичностью системы и наличием карбонов и карбоидов. Незначительное содержание асфальтенов предполагает высокую аморфность. Наличие большого количества карбоидов придает связующим кристалличность.

Реологические свойства связующих зависят от молекулярных взаимодействий, строения и теплового движения макромолекул. Основные реологические константы связующих — пластическая вязкость $\eta_{пл}$ и предельное напряжение сдвига f' . Взаимосвязь этих величин, проявляемая с приложением внешних усилий, выражается формулой

$$F = \eta_{пл} \frac{dv}{dr} + f',$$

где F — сила, необходимая для сообщения поверхности определенной площади градиента скорости dv/dr относительно смежной поверхности.

Для ВМС-связующих характерно резкое снижение вязкости при механическом и тепловом воздействиях с последующим ее возрастанием с наступлением покоя. Такой характер восстановимости указывает на принадлежность связующих к тиксотропным веществам с коагуляционной структурой.

Тиксотропия — это способность ВМС обратимо разжижаться при интенсивных механических и температурных воздействиях и твердеть в состоянии покоя. В целом тиксотропия связующих выражается в переходе их из условно-упругой области в область пластической ползучести.

Коагуляционная структура связующих рассматривается как структурно-пространственная сетка, образованная твердыми асфальтенами, соприкасающимися лишь в отдельных точках через прослойки мальтеновой среды.

Реологические свойства связующих во многом зависят от *релаксационных процессов*. Они вызывают изменение напряженного состояния ВМС при переходе от неравновесного расположения элементов структуры к равновесному. Основная роль в этих процессах принадлежит упругой, высокоэластичной и пластической деформациям. Все три вида деформаций отвечают стеклообразному, высокоэластичному и вязкотекучему состоянию. Напряженный адгезив может не только деформироваться, но и разрушаться. Разрушение связующих связано с термодеструкцией, зависящей от температуры, сдвиговых напряжений и времени их действия.

Спекающие свойства связующих характеризуют их термическую устойчивость в период воздействий высоких температур. *Спекаемость* — особенность связующих, проявляющаяся в их способности образовывать коксовую сетку, не допускающую распад брикетов. *Коксование связующих* определяет устойчивое горение угольных и плавление рудных брикетов. Его оценивают по цементирующему остатку от спекания асфальтенов, смол, карбонов и карбоидов. Характер коксообразования связующих определяется природой сырья и технологией его переработки. Преобладание ароматических углеводородов и повышенная термичность крекирования сырья со строгим регламентом его окисления являются основой высокого выхода кокса.

Для направленного регулирования технологических свойств связующих используют структурно-химическую модификацию. Она способствует улучшению адгезионной активности, механической и термической устойчивости адгезивов. *Модификация связующих* осуществляется добавкой в них различных поверхностно-активных веществ, пластификаторов и наполнителей. Эти вещества изменяют основные физико-химические и структурно-реологические свойства связующих в заранее заданном направлении.

Нефтесвязующие — представляют собой тяжелый остаток от переработки смолистых нефтей, 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. 1.1. Химические компоненты нефтесвязующих следующие. Масляная фракция представляет собой смесь парафиновых, нафтеновых и ароматических углеводородов с небольшим количеством гетероорганических и сернистых соединений. Углеводороды в маслах находятся в виде молекулярного раствора. Гетероорганические соединения включают смолисто-асфальтовые вещества, нафтеновые кислоты и фенолы. Смолы — полужидкие, нейтральные соединения различных углеводородов с молекулярной массой более 1200 и плотностью более 1000 кг/м³. Под действием света, повышен-

ных температур и сильных кислот смолы переходят в асфальтены.

Таблица 1.1. Основные физико-механические характеристики нефтесвязующих и каменноугольного пека

Параметр	Нефтесвязующие	Каменноугольный пек
Плотность, кг/м ³	1045—1060	1250—1290
Пенетрация при 25° С, мм	15—20	1—3
Растяжимость при 25° С, см	5—7	0
Когезия при 25° С, Н/м ²	(1,55—1,65) · 10 ⁵	(2,2—2,4) · 10 ⁵
Температура, °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° С	50—80	30—50
при 200° С	0,5—1	0,8—1

Асфальтены — порошок темно-бурого или черного цвета с молекулярной массой до 2500 и плотностью более 1000 кг/м³. В химическом отношении они высоко ароматичны. Асфальтены при взаимодействии с мальтенами переходят в коллоидный раствор. Их растворимость связана с набуханием в растворителе, т. е. его поглощением. Асфальтены при определенных условиях переходят в смолы и даже в масла.

Карбены и карбониды внешне напоминают асфальтены, но содержат больше углерода. Их можно рассматривать как слабый кокс. В нефтесвязующих содержание карбоновых (нафтенных) и асфальтогеновых кислот незначительно. Они придают связующим поверхностную активность.

Примерный групповой химический состав нефтесвязующих приведен в табл. 1.2.

Соотношение отдельных компонентов группового химического состава нефтесвязующих определяют характер коагуляционной структуры. В основном она отвечает структуре аморфных полимеров. Для нее характерно наличие асфальтенов, пептизированных (расщепленных) в смолах и диспергированных в мальтеновой среде. В зависимости от интенсивности внутримакромолекулярных взаимодействий нефтесвязующие приобретают ту или иную прочность и эластичность. Направленно изменять структурную организацию нефтесвязующих можно путем структурно-химической модификации.

Спекаемость нефтесвязующих тесно связана с коксообразованием, которое зависит от температурно-временных режимов окисления сырья и интенсивности его термической обработки. *Коксовое число* — показатель спекаемости нефтесвязующих — колеблется в пределах 20—30%.

Для получения нефтесвязующих, отвечающих требованиям брикетного производства, очень важен выбор сырья. В качестве сырьевых продуктов наиболее целесообразно применять крекинг-остатки, а также асфальты деасфальтизации, экстракты фенольной очистки и др.

Т а б л и ц а 1.2. Групповой химический состав нефтесвязующих и каменноугольного пека, %

Компоненты	Нефтесвязующее	Каменноугольный пек
Карбены и карбонды	0,1—0,3	28—31
Асфальтены	20—25	3—6
Смолы	28—30	28—35
Масла:		
парафинонафтеновые 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

Крекинг-остатки — это тяжелые продукты переработки мазутов на установках термического крекинга. В химическом отношении они относятся к полициклическим ароматическим углеводородам с высоким содержанием гетероорганических соединений. При хранении быстро окисляются, повышают вязкость, теряют реакционную способность. Наличие у них большого числа непредельных углеводородов способствует получению нефтесвязующих с высокой адгезионной и спекающей способностью.

Переработка указанного сырья в нефтесвязующие осуществляется различными методами окислительной полимеризации и поликонденсации. *Полимеризация* — это химическая реакция мономерных молекул с образованием макромолекул. При *поликонденсации* синтезируются молекулы ВМС. Реакция протекает путем замещения или обмена функциональных групп мономерных молекул с отщеплением низкомолекулярных соединений. Химизм процесса связан с окислением ароматических и гетероциклических соединений с кислородом воздуха при высоких температурах (250—350° С).

Каменноугольный пек. Это твердый, хрупкий продукт черного цвета с раковистым изломом. Он относится к тяжелым остаткам перегонки каменноугольной смолы коксования, полученных при температуре 360—380° С. В химическом отношении это сложная структурированная гетерогенная система. Она состоит из находящихся во взаимосвязи высококонденсированных и гетероциклических соединений и продуктов их уплотнения.

Наиболее важной составляющей пека является β -фракция (асфальтены). К ней относятся химические соединения, характеризующиеся наличием ароматического углерода, упорядоченного в слои, образующие «пакет». Асфальтены пека состоят из смеси ненасыщенных полициклических соединений, содержащих наряду с углеродом и водородом серу и кислород. Асфальтены, пептизированные в γ -фракции (смолы + масла), являются носителем основной массы полярных соединений.

Мальтены или γ -фракция — это группа соединений, составляющая совокупность различных ароматических соединений с разветвленной сетью боковых групп (в основном алифатических углеводородов). Мальтенам присущи соединения углеводородов смешанного типа, а также комплексы с различными функциональными группами.

Свободный углерод (α -фракция, карбены) — индивидуальные углеродистые соединения кристаллической структуры в виде дисперсных частиц. Для карбенов характерны плотно конденсированные соединения с повышенным числом ароматических колец. Основные физико-химические характеристики и групповой состав каменноугольного пека приведены в табл. 1.1 и 1.2.

Структура каменноугольного пека во многом определяется присутствием в нем обособленных высококонденсированных углеродистых соединений типа карбенов и карбоидов. Пронизывая всю дисперсионную среду, эти компоненты выступают в качестве активных зародышеобразователей. Вокруг них концентрируется наиболее высокомолекулярная часть макромолекул — коагуляционный комплекс. Можно считать, что *каменноугольный пек — это комплексное высокомолекулярное соединение, находящееся в аморфно-кристаллическом состоянии*. Степень кристалличности повышается от мягких к средним и далее к твердым пекам.

Каменноугольный пек обладает высокой спекаемостью. Его *коксовое число* (выход кокса при коксовании продуктов угли и нефтехимической переработки) находится в пределах 37—42%. Брикет, изготовленный на пеке, отличается высокой термостойкостью. Процесс коксообразования у этого связующего близок к механизму спекания нефтесвязующих.

В качестве сырья для производства каменноугольного пека заменяют 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 осу-

ществляют путем компаундирования (смешения) с дистиллятами и отходами смолоперегонки. Токсичность каменноугольного пека ограничивает его область применения при брикетировании. Снижение вредного действия пека достигается термической обработкой брикетов.

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

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%. Общая характеристика концентратов ССБ приводится в табл. 1.3. Как жидкие, так и твердые ССБ хорошо растворимы в воде. Водный раствор ССБ имеет кислую реакцию (рН среды не выше 4—5). Содержание веществ, нерастворимых в воде, составляет не более 1%.

Т а б л и ц а 1.3. Техническая характеристика концентратов ССБ

Параметр	КБЖ	КБТ
Плотность, кг/м ³	1275—1300	1400
Зольность, %	8—9	14—16
Содержание, %:		
серы	5—10	5—10
сухих веществ	45—55	75—85
СаО	3—4,5	7,5—9
Влажность, %	45—48	17—20
Выход летучих веществ, %		65—70
Теплота сгорания, кДж/кг	12 000	21 000
Цвет	Бурий	Темно-бурий

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. Брикет, 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, сухогашеной извести (пушонки) СаОН, 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.

Прочие связующие угле- и сланцевой переработки. *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 веществам 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 бензолполикарбонатовых кислот (до 30%). Молекулярная масса гуминовых кислот колеблется от десятков до сотен тысяч, подтверждая их высокомолекулярную основу.

Брикеты, полученные на гуматах, отличаются хорошей водо- и термоустойчивостью, имеют высокую механическую прочность.

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 325° С 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. Плотность сланцевых битумов составляет 1090—1200 кг/м³, пенетрация при 25° С равна 1—2 мм, температура размягчения по КиШ 70—75° С, теплота сгорания 36 700 кДж/кг. Брикеты, полученные на сланцевых битумах, отличаются повышенной прочностью, водо- и термоустойчивостью.

Хорошими связующими свойствами обладают сланцевые пиробитумы. Они являются тяжелым продуктом термической переработки при температуре 340—380° С обогащенных горючих сланцев.

Смола полукоксования (первичная смола, деготь) является основным продуктом термического разложения угля без доступа

воздуха при температурах, не превышающих 550° С. Смола полукоксования — это темно-бурая вязкая жидкость. В химическом отношении она представляет собой сложную смесь органических высокомолекулярных соединений.

Основные группы, входящие в состав смол, следующие. Вещества кислого характера — карбоновые кислоты и фенолы. Вещества основного характера — органические основания. Нейтральные вещества разделяются на масла, смолы и асфальтены. Последние представлены различными ароматическими полициклическими соединениями, содержащими кислород, азот и серу.

Смола полукоксования нашла применение как связующее при брикетировании коксовой шихты. Полученные брикеты смешиваются с основной массой коксовой шихты (примерно 70—75%) и направляются для коксования. Для изготовления угольных и рудных брикетов, идущих для сжигания и плавки, смола полукоксования малоэффективна. В этом случае ее рекомендуется подвергнуть термической переработке, используя в качестве связующего тяжелую фракцию. Это связующее имеет плотность 1070—1100 кг/м³, температуру размягчения по КиШ 50—55° С. В нем содержатся карбоны и карбоиды (до 8%), асфальтены (до 17%) и мальтены (до 75%). Для повышения термостойчивости тяжелую фракцию обрабатывают соляной кислотой.

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. Это соотношение зависит от температуры парогазовой смеси на выходе из предварительных холодильников печей полукоксования. 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. Снижается содержание легких фракций. Повышается доля непредельных углеводородов и асфальтенов. Выделяются твердые остатки. Фусы приобретают повышенную вязкость и температуру размягчения. Наилучшие результаты окисления фусов достигнуты при температуре 220—240° С, времени и скорости продувки воздуха соответственно 2 ч и 1,5 л/мин.

В процессе коксования также образуется некоторая доля фусов — тяжелых остатков каменноугольной смолы. Каменноугольные фусы представляют собой очень густую вязкую массу черного цвета. В них содержится большое количество мельчайших угольных зерен, вынесенных газом из коксовых камер. Температуре размягчения по КиШ 60—65° С. Температура плавления 90—95° С. Содержание свободного углерода и летучих веществ — 35 и 63%. Зольность фусов не превышает 3%. 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%).

Хорошими связующими являются различные смеси органических веществ. Компаундированием достигается получение связующих, обладающих высокими специфическими свойствами. Бездымное связующее можно получить из смеси нефте- и углехимических отходов с отходами полистирола. Такая смесь обрабатывается 3—4 ч при температуре 300—400° С и давлении 0,5—1,5 МПа. Из образующейся массы отгоняют фракцию с температурой кипения менее 420° С и разбавляют высокоароматичной масляной фракцией. Получается компаунд-связующее с температурой размягчения по КиШ 70—80°С. При смешении дорожного битума с эпоксидной смолой и небольшим количеством полиаминов можно получить связующее с высокой прочностью на разрыв и хорошими водоотталкивающими свойствами.

Переработка нефтяного битума при температуре 160° С в течение нескольких часов с отходами производства каучука и тяжелыми фракциями ароматических углеводородов нефти в соотношении соответственно 85—95; 3—15 и 3—5% позволяет получить качественное брикетное связующее. Иногда вместо ароматических углеводородов добавляют в смесь аминосодержащие соединения. В качестве компаундсмеси применяют различные фракции каменноугольной смолы в композиции с дивинилстиролом, синтетическим латексом, твердыми остатками нефтепереработки, отходами резино-технического производства. Известны связующие на основе нитрохлопка и ацетата целлюлозы, смеси сульфитного шелока и сырого крахмала, тяжелого остатка переработки таллового масла (терпек), смеси поливиниловой смолы с полиуретаном, продукта взаимодействия галогенида с полиамидамином.

1.3.2. Неорганические связующие

Связующие неорганического (минерального) происхождения, как правило, вступают с брикетируемым полезным ископаемым в химическую реакцию. Интенсивность структурообразования зависит от скорости и полноты химических реакций, а также

давления прессования. В качестве минеральных связующих наибольшее распространение нашли известь, растворимое (жидкое) стекло, цементы, каустический магнезит и доломит, чугуная стружка, глины, гипс и др.

Известь. Этот продукт является одним из наиболее распространенных минеральных связующих. Она состоит преимущественно из оксида кальция и магния, что позволяет одновременно использовать ее в качестве флюса при металлургической переработке брикетов.

Известь — продукт, получаемый обжигом известняка, содержащий минимальное количество вредных примесей кремнезема, фосфора, серы. Обжиг известняка осуществляют в шахтных печах при температуре 900—1200° С. При этом происходит диссоциация CaCO_3 (обратимая химическая реакция) с затратами значительного количества тепла



Температура реакции зависит от парциального давления углекислого газа CO_2 . Поэтому в процессе обжига необходим постоянный вывод CO_2 из печи. Согласно техническим требованиям, готовая известь должна содержать не менее 85% $\text{CaO} + \text{MgO}$ и не более 2—3% глинистых примесей. Она должна обладать высокой химической активностью и равномерным по всей массе химическим составом.

В качестве связующих — флюсов применяют как гашеную, так и негашеную известь. Последняя кроме вышеперечисленных требований должна иметь равномерный гранулометрический состав. Для брикетирования наиболее приемлема свежееобожженная известь. Такая известь имеет чисто белый или слегка сероватый цвет. Желтизна или бурый оттенок указывают на некачественное приготовление и (или) неудовлетворительный химический состав. Плотность извести примерно 3000 кг/м³. В химическом отношении известь делят на четыре сорта, характеристика которых приведена в табл. 1.4.

Таблица 1.4. Стандартные сорта извести

Содержание, %	Сорт			
	I	II	III	IV
Активных $\text{CaO} + \text{MgO}$ (не менее)	85	75	65	50
SiO_2 (не выше)	3,5	3,5	4,5	4,5
Непогасившихся зерен (не более)	3	5	10	15
Летучих веществ -- потери при прокаливании (не более)	4	8	13	20

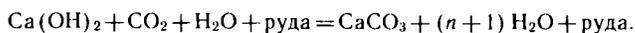
Гашение извести происходит с выделением тепла по следующей реакции:



В зависимости от расхода воды, участвующей в гашении, образуется то или иное количество пушонки и известкового молока. Пушонка — связующее, а известковое молоко используется в основном для строительства. Ускорение гашения известки достигается добавкой в воду активирующих агентов: NaOH, CaCl₂, NaCl, MgCl₂.

Перед употреблением пушонку отсеивают от непогасившихся зерен. Недопустимо длительное ее хранение даже в закрытой емкости, так как атмосферная влага приводит к гидратации поверхности и потере вяжущих свойств.

Механизм связывания твердых частиц с помощью пушонки заключается в кристаллизации Ca(OH)₂ и карбонизации его углекислым газом из атмосферы. Эта реакция имеет следующий вид:

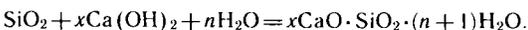


Полученное вещество CaCO₃ напоминает исходное сырье, из которого изготавливают известь. Однако затвердевшая масса известкового раствора, сцементировавшая зерна руды, не соответствует свойствам природного CaCO₃.

В общем виде твердение известкового раствора состоит из отдельных фаз. Во-первых, оно связано с выделением и последующим испарением воды; во-вторых, происходит уплотнение гелеобразного Ca(OH)₂; в-третьих, достигается кристаллизация карбоната и гидроксида кальция в присутствии небольших (3—5%) объемов воды.

После завершения вышеописанного процесса происходит лишь медленное испарение остаточной влаги с образованием сухих кристаллов CaCO₃. Для интенсификации удаления остаточной влаги используется искусственная карбонизация или гидротермальная обработка (автоклавирование). *Искусственная карбонизация брикетов связана с замедленной их сушкой при невысоких температурах.* Для интенсификации процесса сушки рекомендуется вводить (до 0,1% массы) ПАВ (сульфит-спиртовая барда, сульфитные щелочи, растворимые хлориды и др.).

Автоклавирование — процесс гидротермальной обработки, при котором гель кремнезема, содержащийся в руде, взаимодействует с Ca(OH)₂. В результате образуются гидросиликаты или гидроферриты кальция, цементирующие структуру брикета. Указанная реакция идет по схеме



Автоклавирование проводят при давлении 0,7—0,8 МПа и температуре около 175° С. Кроме того, одно из обязательных условий автоклавирования — большая доля кремнезема в брикетированной руде.

Известь как связующее применяется при брикетировании же-

лезорудной мелочи, цинковых концентратов, мелочи медного колчедана, колошниковой пыли и другого рудного сырья. Рекомендуемый расход свежей гашеной извести (пушонки) 5—10% брикетированной массы.

В качестве связующего используется *гидравлическая известь*, получаемая путем измельчения неспекшихся мергелистых известняков. Одним из таких продуктов является романцемент, обладающей высокими вяжущими свойствами. Он успешно конкурирует с портландцементом. Гидравлическая известь применяется в гашеном и негашеном виде.

Степень гидравличности извести определяется по модулю

$$M_r = \frac{\text{CaO}}{(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)}$$

Чем больше в извести CaO, тем меньше степень гидравличности. По этому показателю гидравлическая известь делится на сильно- ($M_r = 1,5 \div 4,5$) и слабогидравлическую ($M_r > 9$).

Растворимое стекло представляет собой стекловидный прозрачный сплав с цветовыми оттенками от голубоватого до желтого. Оно состоит из смеси различных щелочных силикатов переменного состава общей формулы $R_2O \cdot n\text{SiO}_2$, где R — натрий или калий; n — число молекул SiO_2 , приходящихся на одну молекулу щелочных металлов.

Растворимое стекло известно под названием *силикат-глыба*, а его водные растворы — жидкое стекло. Плотность силикат-глыбы 2400 кг/м³. Температура размягчения его находится в пределах 1000—1100° С. При ударе силикат-глыба разламывается как обычное стекло. Имеет такую же твердость, хрупкость и эластичность, как стекло, при резких изменениях температуры рассыпается на мелкие кусочки. Плохо подвержена действию кислот. Быстро не окисляется, но в течение месячного пребывания на открытом воздухе покрывается пленкой Na_2CO_3 .

Для брикетирования нашло применение натриевое растворимое стекло $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$. Это связующее получают обжигом смеси кварцевого песка с содой или сульфатом натрия при температуре 1300—1400° С. После охлаждения расплава он превращается в силикат-глыбу, которую затем растворяют водой. Качество полученного продукта оценивают по *модулю основности*:

$$M_{\text{осн}} = 1,032\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O},$$

где 1,032 отношение молекулярных масс оксида натрия к оксиду кремния.

По модулю основности растворимое стекло может быть нейтральным ($M_{\text{осн}} \geq 3$) и щелочным ($M_{\text{осн}} < 3$). Нейтральное растворимое стекло содержит повышенное количество коллоид-

ного кремнезема, который придает ему высокую адгезию. Такое же действие оказывают небольшие добавки мочевины и различных ПАВ.

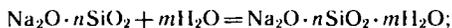
В зависимости от способа производства в растворимом стекле содержание основных химических компонентов различно. Технические условия на силикат-глыбу приведены в табл. 1.5.

Т а б л и ц а 1.5. Техническая характеристика силикат-глыбы

Параметр	Способ производства		
	содовый	содово-сульфатный	сульфатный
Содержание, %; не более:			
SiO ₂	71,5—73	70 72,5	70—72,5
Fe ₂ O ₃ + Al ₂ O ₃	0,7	1,2	1,5—2
CaO	0,4	0,6	0,8
SO ₂	0,36	0,6	0,8
Na ₂ O	26—27,5	25—27,5	25—27,5
Модуль основности	2,65—3	2,65—3	2,65—3

Растворение силикат-глыбы связано с последовательно протекающими реакциями:

гидратация с одновременным набуханием по следующей схеме:



гидролиз, замедляющийся с повышением доли SiO₂, выражаемый уравнением



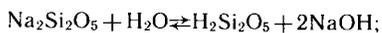
пептизация SiO₂ (коллоидное растворение) выделившегося в результате разложения силикат-глыбы в NaOH;

электролитическая диссоциация с образованием простых и сложных коллоидных соединений. Растворы жидкого стекла смачиваются водой в любых соотношениях, определяя их вязкость. Последняя падает со снижением содержания SiO₂, ростом температуры и вводом в раствор едкой щелочи, но возрастает с добавкой раствора поваренной соли.

Растворимое стекло затвердевает на воздухе. Процесс этот связан с испарением воды, увеличением степени коллоидности SiO₂, его коагуляции, уплотнения и твердения под воздействием воздуха. Затвердевание идет сравнительно медленно. Для его ускорения вводят добавки типа кремнефтористого натрия, хлоридов щелочных и щелочноземельных металлов и веществ с большим содержанием двухкальциевого силиката.

Интенсификация цементации растворимого стекла может быть осуществлена сушкой брикетов при температуре 150—250° С или карбонизацией. Сушка способствует быстрейшему

испарению влаги и последующему затвердеванию растворимого стекла. Карбонизация связана с ускорением гидролиза силиката натрия по реакциям



Максимальная прочность карбонизированных брикетов достигается при завершении процесса разложения силиката натрия. Длительная карбонизация вызывает падение прочности, так как гель кремневой кислоты обезвоживается. Последний служит основным связующим и цементирующим агентом. Гель кремневой кислоты представляет собой амфорный кремнезем с некоторым количеством воды.

Растворимое стекло применяется для брикетирования коллоидной пыли, феррохрома, железной и хромовой руд. Расход этого связующего колеблется от 5 до 10%, снижаясь с вводом активирующих добавок.

Цементы. Для брикетирования руд применяют в качестве связующих различные цементы: портландцемент, гидравлический, бокситовый, гипсовый, рудный, шлакопортландцемент и др.

Портландцемент наиболее распространен в брикетировании. Это связующее получают путем обжига и последующего измельчения мергелей или смесей глины и кальцита с добавками. При обжиге образуется клинкер, который определяет качество портландцемента. Химический состав клинкера, позволяющего получать высокие вяжущие свойства, следующий, %: CaO 63—66; SiO₂ 21—24; Al₂O₃ 4—8; Fe₂O₃ 2—4; MgO 0,5—5.

Особое влияние на цементирующую способность оказывает оксид кальция. Увеличенное содержание его ускоряет упрочнение цемента, но снижает водоустойчивость брикетов. Обратное воздействие оказывает повышенное содержание SiO₂. Для регулирования свойств в портландцементы вводят модифицирующие добавки. Плотность портландцемента 3100—3200 кг/м³.

Шлакопортландцемент — связующее, которое получают при совместном измельчении портландцементного клинкера и гранулированных шлаков (в основном доменных). В шихте содержание шлаков не должно превышать 60%. Обычно в измельчаемую смесь добавляют от 5 до 50% веществ, повышающих адгезионную способность связующего (гипс, известь, сульфаты и гидроксиды щелочных металлов).

По своим техническим характеристикам шлакопортландцементы близки к портландцементу. Им присуща высокая термостойкость. Плотность связующего находится в пределах 2800—3000 кг/м³.

Бокситовый цемент получают из известняков и боксита при содержании кремнезема около 8%. Этот цемент содержит в своем составе глинозем. Последний, выступая как флюсы в ме-

таллургическом переделе, позволяет использовать шлаки в цементной промышленности. Бокситовый цемент отличается высокой стоимостью. Модификацией бокситового цемента является связующее с примесью до 20% железной руды. Оно обладает высокой основностью. Брикеты, полученные на бокситном цементе, наиболее полно удовлетворяют металлургической плавке.

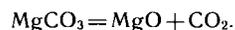
Рудный цемент содержит оксид железа. Его получают с участием железной руды или глинистых колчеданных огарков. В рудном цементе содержатся, %: чистое железо и его оксид 35—50; оксид кальция 40—45; кремнезем 5—10. Это связующее отличается высокой механической прочностью, водостойкостью и кислотоупорностью.

Процесс твердения цементов — связующих в брикетах может идти по трем основным направлениям — естественному, ускоренному и автоклавному упрочению. Естественное твердение идет при температурах окружающего воздуха в воздушно-влажной среде. Оно завершается через несколько недель. Ускоренное упрочение цементов осуществляется при температуре 60—100° С в той же воздушно-влажной среде в течение нескольких часов. Эту обработку можно выполнить паром, увлажненным воздухом или другими способами нагрева (электро- или радиационный). Общее упрочение брикетов после завершения тепловой обработки не превышает 2 ч.

Автоклавное упрочение предполагает гидратацию цементного связующего при температуре 175—200° С и избыточном давлении (0,8—1,4 МПа) в течение 5—8 ч. Общее время пребывания брикетов в автоклаве не превышает 2 ч. Брикеты, выходящие из автоклава, отвечают высокой механической прочности. Они пригодны для последующей переработки в металлургическом процессе.

Расход цементных связующих для брикетирования железных руд и их концентратов колеблется от 3 до 20%. Наименьшие расходы связующих требуются при брикетировании на портландцементе и бокситовом цементе. Железистый (рудный) цемент расходуется в количествах до 20%. Цементы в качестве связующих могут использоваться для брикетирования угольной мелочи с расходом до 5%. Угольные брикеты на цементной связке отличаются высокой механической прочностью, термической устойчивостью и бездымностью.

Каустический магнезит и доломит. *Каустический магнезит* MgO представляет собой продукт обжига природного магнезита MgCO₃, содержащего его более 43%. Обжиг осуществляется при температурах 650—850° С. Термическое разложение идет по уравнению



Начальный распад MgCO₃ проявляется уже при 180° С. Дис-

социация зависит от температуры и свойств природного магнезита, в первую очередь оказывают влияние структура, плотность и состав примесей в $MgCO_3$. Очень важно обжиг вести равномерно. Благодаря этому достигается постоянство вяжущей способности каустического магнезита. Эффективная технология обжига позволяет получить каустический магнезит в виде амфорной рыхлой объемистой массы плотностью 3200—3400 кг/м³. Такая плотность соответствует наиболее высокой вяжущей способности.

Цементирующие свойства усиливаются с увеличением тонны измельчения обожженного продукта. Крупное измельчение отрицательно сказывается на твердении, удлиняется период схватывания. Химический состав каустического магнезита, %: MgO не менее 83; CaO 2,5—4,5; $Fe_2O_3 + Al_2O_3$ до 2,5. Это связующее химически нейтральное.

Свойствами, близкими к каустическому магнезиту, обладает пылевая фракция металлургического магнезита. Последний получается в результате обжига $MgCO_3$ при температурах 1500—1700° С.

Каустический магнезит тонкого измельчения и пылевая фракция металлургического магнезита — основные составляющие магнезиальных цементов. Они, смачиваясь растворами солей хлористых металлов и их сульфатов, образуют камнеподобную прочную цементную массу. В целом процесс твердения такого цементного материала представляется в следующем виде:

гидратация MgO по реакции $MgO + H_2O = Mg(OH)_2$;

смачивание раствором вышеуказанных солей с образованием соединения типа $3MgO \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$ (оксихлорид магния, если используется раствор соли $MgCl_2$);

образование концентрированных растворов, которые выделяют коллоидный гель;

переход геля в кристаллоподобные сростки, являющимися центрами твердения цементной массы.

Цементация интенсифицируется с ростом температуры.

Каустический магнезит может быть использован в качестве связующего при брикетировании руд черных и цветных металлов. Его расход колеблется в зависимости от вида сырья и усилий прессования и составляет 2—5%. Брикеты отличаются высокой механической прочностью и водоустойчивостью.

Каустический доломит — продукт, получаемый обжигом доломита $CaCO_3 \cdot MgCO_3$ при температуре 700° С, по реакции $CaCO_3 \cdot MgCO_3 = CaCO_3 + MgO + CO_2$.

При обжиге деструкция доломита идет в два этапа: при температуре 700° С разлагается $MgCO_3$, а при 900° С — $CaCO_3$.

Плотность каустического доломита составляет 2800—2850 кг/м³. Вяжущая способность у этого материала ниже, чем у каустического магнезита. Цементация идет медленнее. Это вызы-

вают повышенные расходы связующего при брикетировании. Каустический доломит гигроскопичен. Его следует хранить в закрытых емкостях.

Гипсовые связующие. *Гипс* в сыром виде $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и обожженном (алебастр) $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ применяется для брикетирования в цветной металлургии. Для окускования железных руд гипсовые связующие непригодны, так как повышают содержание серы в металле. Расход гипсовых связующих не превышает 10%.

Гипсовые связующие в зависимости от интенсивности обезвоживания при обжиге имеют ряд модификаций. Так, при температуре обжига до 120°C удаляется около 50% кристаллизационной влаги. Образуется крупнокристаллический альфа-гипс в виде полупрозрачных призм. При смещении с водой альфа-гипс переходит в плотную массу большой прочности. При температуре обжига 170°C испаряется почти 75% воды. Возникает мелкокристаллическая структура полугидрата — бета-гипс. С увеличением температуры до $350\text{—}400^\circ\text{C}$ образуется растворимый гипсовый ангидрит. Он медленно застывает, но дает весьма твердую прочную массу. При $450\text{—}750^\circ\text{C}$ гипсовый ангидрит уже полностью обезвоженный и плохо растворимый в воде не обладает вяжущими свойствами. При температурах выше 750°C CaSO_4 разлагается, приобретая вновь вяжущие свойства. Продукт переработки называется высокообжиговый гипс (эстрих-гипс).

Наиболее распространен как связующее *полугидрат гипса*. Его качество может быть улучшено вводом специальных добавок, замедляющих растворение гипса. Прочность гипса возрастает с вводом в связующее извести. Водоустойчивость гипсовых связующих повышается при добавлении в гипсовое «тесто» гидрофобизирующих добавок, например сульфит-спиртовой барды.

Глины. Наибольшее распространение из глин в качестве связующего получил бентонит. *Бентонитовые глины* — морские осадочные породы, возникшие из лав, пеплов и туфов. Химический состав этих глин характеризуется наличием SiO_2 (45—80%), Al_2O_3 (10—15%), MgO , CaO (до 8% каждого). Основу бентонита составляет монтмориллонит $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, содержание которого иногда превышает 80%. По своим коллоидным характеристикам это связующее способно к значительному расширению кристаллической решетки и изменению молекулярной структуры.

Набухаемость бентонита столь велика, что он способен при увлажнении увеличиваться в объеме в 30 раз. Максимальная скорость набухания достигается у щелочных бентонитов. Для приготовления бентонитового связующего глину сушат до влажности 5—8% и измельчают до крупности менее 0,1 мм. Хранят связующее в специальных мешках. Качество бентонита оцени-

вают по электрокинетическому потенциалу и содержанию монтмориллонита. Первый показатель характеризует катионный обмен в бентонитовом комплексе при взаимодействии с водой. Наличие монтмориллонита способствует набухаемости.

Для улучшения свойств бентонита-связующего его модифицируют различными добавками (натриевые соли, соли алюминия, некоторые щелочи, сода и др.). Расход бентонита при брикетировании железорудных концентратов не выше 1%, никелевых — до 10%. В брикетную смесь с бентонитом добавляют до 7—12% воды.

Бентонит весьма дорогостоящее вещество с ограниченными залежами. В качестве заменителей бентонита как связующего используют жирную глину и отходы углеобогащения, содержащие повышенные количества монтмориллонита. Последние необходимо активизировать щелочными добавками.

Чугунная стружка представляет собой тонкоизмельченный железистый продукт. Связующие свойства ее проявляются в процессе коррозии и гидратации с брикетируемым железорудным сырьем. Чугунную стружку (5—10% брикетируемой массы) смешивают в присутствии катализатора с рудой и прессуют в брикеты. В качестве катализатора используют водные растворы NaCl (0,5—1% общей массы).

В результате электрохимических процессов взаимодействия компонентов шихты начинается активное корродирование. Возникает гальванопара, растворяющая чугунную стружку с образованием продуктов коррозии. Интенсивность образования последних зависит от электропроводности брикетируемой руды. При невысоких электрических сопротивлениях руды возникает больше гальванопар. Активней идет коррозия связующего. Возрастает число точек цементации брикетов. Коррозия усиливается с приложением давления прессования и временем его действия.

Скрепление брикетов замедляется при избытке в шихте влаги, содержание которой не должно превышать 10%. Значительное содержание воды приводит к обильному поглощению тепла и снижению температуры шихты. Ухудшается прессование, замедляется упрочение брикетов. Цементация завершается лишь через несколько суток.

При нормальном течении коррозионных реакций брикеты приобретают оптимальную прочность уже после 1 сут вылеживания. На связующие свойства чугунной стружки оказывает влияние ее химический состав. Примерное содержание нежелезистых компонентов качественной чугунной стружки следующее, %: углерод около 4; кремний около 2; фосфор и сера соответственно не более 0,1 и 0,01; марганец до 0,5.

Для брикетирования с чугунной стружкой следует применять мелкие руды крупностью не более 0,5 мм. Наилучшие показатели достигаются при окусковании магнетитовых и гематитовых руд.

Вместо чугунной стружки можно использовать губчатое железо. Его получают частичным восстановлением руды до порошкообразного металлического железа. Губчатое железо более эффективное связующее. Оно отличается повышенной химической активностью, большой удельной поверхностью порошка, высокой крупностью. Перечисленные качества способствуют уменьшению расхода связующего по сравнению с чугунной стружкой до 3—4%. Особенно эффективно применение губчатого железа при брикетировании руд крупностью менее 0,15 мм. Брикет с губчатым железом цементируется полно и быстро. Однако губчатое железо дороже, чем чугунная стружка. Для его получения требуется специальная термическая обработка железной руды при температурах 1100—1300° С.

1.3.3. Комбинированные связующие

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

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

Наиболее эффективными комбинированными связующими следует считать различные модификации с известью: композицию из извести-пушонки и сульфата натрия в соотношении 10:1 в присутствии воды (5—10% массы брикетной шихты); смесь извести с кварцевыми материалами (молотый кварц, трепел, флотационные отходы с большим содержанием кремнезема) в соотношении 1:1.

Брикет на основе такого связующего для полного упрочения требуют автоклавной обработки. Смесь негашеной извести и 10%-го раствора хлористого кальция (магния) позволяет перевести известь в хлориды. Последние при температуре 400—500° С способствуют высокопрочной цементации брикетов. Тот же эффект достигается медленной сушкой при температуре 150° С. Известь в смеси с 10%-м раствором сульфит-спиртовой барды при соотношении названных компонентов 1:1 позволяет ускорить карбонизацию брикетов без изменения технологических свойств.

Смешение извести и пирита способствует цементации брикетов за счет образования гидросиликата кальция. Этот процесс сопровождается обязательной гидротермальной обработкой брикетов. Применение смеси извести и сидерита дает возможность цементации брикетов за счет гидроксида железа. Образование последнего связано со взаимодействием карбонатов железа и гидроксида кальция. Расход комбинированного связующего не превышает 15%, в том числе 13,5% сидерита и 1,5% извести. Брикеты упрочаются вылеживанием с последующей пропаркой. Известна технология цементации брикета со смесью известкового молока и CO_2 , основанного на образовании структурной сетки из карбоната кальция.

Комбинация каустического магнезита с доменным шлаком или сульфатными щелоками позволяет получить качественные брикеты. В первом случае при соотношении каустического магнезита и шлака 1:4 (2:3) образуются брикеты высокой степени цементации, водо- и термоустойчивые. Сульфитный шлоком в смеси с магнезиальным цементом способствует получению прочного брикета уже при выходе из пресса. Брикеты полностью цементируются при кратковременной сушке или гидротермальной обработке.

В качестве связующих можно использовать смесь различных шлаков, хлористого кальция и хлористого натрия. Например, 15% гранулированных шлаков металлургических заводов и 0,5—2,5% CaCl_2 и NaCl в соотношении 1:3.

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

При смешении каменноугольного пека или нефтяного битума с сульфит-спиртовой бардой или сульфитным щелоком в соотношении (1—2):(5—6) получают качественные угольные и рудные брикеты.

Эти органические связующие можно смешивать с кальцинированной содой, каустическим магнезитом, растворимым стеклом, мергелем и другими добавками.

Эмульсии и пасты являются разновидностью комбинированных связующих. Эмульсии представляют собой механическую смесь органических связующих в воде, стабилизированную эмульгатором — ПАВ. Использование связующих в эмульгированном состоянии позволяет снизить расход основного связующего, улучшить его растекание по поверхности брикетируемого материала. Эмульсия хорошо распыляется, не вызывает сложности в дозировке. Эмульсия значительно эффективней, чем неэмульгированное связующее при брикетировании тонкозернистых веществ. Тонкослойное распределение эмульсионной клеевой

пленки позволяет значительно увеличить механическую прочность брикетов.

Наибольшее распространение в брикетировании получили *прямые битумные эмульсии* — эмульсии, где дисперсионная среда — вода, а дисперсная фаза — связующее. Они отличаются высокой устойчивостью и возможностью длительного хранения. Качественные прямые битумные эмульсии получают по специальной технологии. Эмульгатором служит сульфит-спиртовая барда, предварительно растворенная в строго определенном объеме воды. В подготовленный эмульгатор постепенно небольшими порциями добавляют 80—90 массовых частей жидкого битумного связующего. Температура смеси находится в пределах 60—80° С. В течение 5—10-минутного перемешивания происходит тонкое диспергирование битума и образуется однородная концентрированная стабильная прямая эмульсия. Готовая эмульсия обладает высокой подвижностью. Использование битумной эмульсии в качестве связующего позволяет исключить из процесса дорогостоящую сушку и нагрев брикетируемых материалов. Брикетки отличаются высокой механической прочностью, водо- и термоустойчивостью.

Битумную эмульсию можно получать в коллоидных мельницах. В работающую мельницу одновременно дозируют два компонента — нагретое до 160—180° С нефтесвязующее и готовый раствор эмульгатора. Необходимо, чтобы дисперсионная среда имела рН не менее 11—12. После нескольких минут смешения образуется устойчивая однородная тонкодисперсная эмульсия.

Для приготовления эмульсии из каменноугольного пека используют смесь, состоящую из основного связующего, антрацевого масла, сульфитного щелока и воды. Последние три компонента берутся в соотношении 1:1:1. Антрацитовое масло пластифицирует каменноугольный пек, способствуя его лучшему диспергированию. Сульфитный щелок — эмульгатор. Эмульсию получают в высокоскоростных мешалках — диспергаторах. Расход эмульгированного каменноугольного пека на 10% меньше, чем неэмульгированного. Брикетки обладают высокими технологическими качествами.

Одно из существенных условий получения устойчивой эмульсии связующего — правильный выбор эмульгатора. В качестве эмульгаторов обычно используют катион- или анионоактивные ПАВ типа соединений полимерамина, алкилфенолов или других синтетических материалов. При брикетировании руд допускается применять неорганические твердые эмульгаторы, например бентонит.

Пасты — это механическая смесь органических связующих нефтяного и угольного происхождения с тонкодисперсными твердыми материалами. Последние в большинстве случаев также обладают вяжущими свойствами. Так, например, битумно-гли-

нистые пасты готовят путем смешения нагретого до 100°C бентонита, нефтесвязующего, находящегося при температуре $160\text{--}180^{\circ}\text{C}$, и кипящей воды. Состав пасты следующий: нефтебитум — одна часть, бентонит — одна часть, вода — две части. Аналогично готовят битумно-известковые пасты. Для этого известь смешивают с водой до получения тестообразной массы. Битум, имеющий температуру $160\text{--}180^{\circ}\text{C}$, вводят в известь в момент наиболее активного гашения. Смесь перемешивается до получения устойчивой однородной массы — пасты. Состав такой пасты: битум $25\text{--}45\%$, известь $10\text{--}25\%$, остальное — вода. Брикетты, полученные с применением паст-связующих, отличаются высокими технологическими свойствами. Пасту с успехом можно применять для брикетирования любых полезных ископаемых.

Глава 2

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ БРИКЕТИРОВАНИЯ

Брикетирование полезных ископаемых представляет собой сложный физико-химический процесс взаимодействия разобщенных твердых частиц. Структура брикетов образуется путем непосредственных контактов частиц между собой или через прослойки связующих и воды за счет прилагаемых усилий прессования. Разнообразие технологических приемов и специфичность отдельных видов окисковываемых минералов не позволяют создать единой теории брикетирования полезных ископаемых. В данной главе рассматриваются лишь основные принципы механизма структурообразования брикетов со связующими и без них.

2.1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССОВ БРИКЕТИРОВАНИЯ СО СВЯЗУЮЩИМИ

Формирование структуры брикетов со связующими следует рассматривать как один из видов склеивания разобщенных твердых материалов с помощью клеев (адгезивов). Основу структурообразования составляют самопроизвольные процессы взаимного расположения и взаимосвязи отдельных контактирующих элементов системы. Агрегирование определяют прилипание и склеивание. Прилипание как начальная ступень процесса склеивания связана с образованием упорядоченной клеевой пленки на поверхности твердого тела (субстрата). Для прилипания характерно вязкотекучее (иногда жидкое) состояние связующего. Последующие процессы приводят к структурированию (восстановле-

нию) клея до его максимальной прочности. В результате разоб-
щенные твердые частицы, покрытые связующим, объединяются
(склеиваются) в брикет.

Прочность любой многофазной системы, образованной в ре-
зультате прилипания и склеивания адгезива и субстрата, харак-
теризуется адгезией, аутогезией и когезией.

2.1.1. Адгезионные взаимодействия

Адгезия характеризует молекулярные взаимодействия, возни-
кающие между поверхностями двух разнородных жидких или
твердых тел, приведенных в контакт. Она определяется силами
сцепления молекул, находящихся в поверхностном слое соприка-
сающихся тел (фаз). Эти силы называются силы адгезии. На
первом этапе адгезионные взаимодействия связаны с эффектив-
ным растеканием жидкого клея по поверхности твердого тела,
т. е. со смачиванием. Без смачивания склеивание невозможно.

Смачивание. Этот процесс представляет собой растекание
жидкого адгезива по твердой поверхности за счет действия сил
притяжения между молекулами жидкой и твердой фаз. Смачи-
вание связано с адсорбцией жидкого тела на твердой поверх-
ности, т. е. с самопроизвольным исчезновением последней и
появлением поверхности раздела фаз. Энергетический баланс сил
в межфазной зоне можно выразить уравнением:

$$E_{см} = E_{тв} + E_{ж} - E_{тв-ж}, \quad (2.1)$$

где $E_{см}$ — энергия смачивания; $E_{тв}$ — энергия поверхности суб-
страта; $E_{ж}$ — энергия поверхности адгезива; $E_{тв-ж}$ — энергия по-
верхности раздела субстрат — адгезив.

Для практического количественного определения смачивае-
мости жидкости твердого тела пользуются значениями поверх-
ностного натяжения и краевого угла смачивания.

Поверхностное натяжение — мера напряженности некомпен-
сированных молекулярных сил в межфазном поверхностном слое,
направленная по касательной к поверхности жидкости. Расте-
кание жидкости по твердой поверхности (рис. 2.1) и полное сма-
чивание возможны только при условии

$$\sigma_{тв} \geq \sigma_{ж} + \sigma_{тв-ж} \quad (2.2)$$

или

$$\sigma_{тв} - \sigma_{ж} - \sigma_{тв-ж} \geq 0,$$

где $\sigma_{тв}$, $\sigma_{ж}$, $\sigma_{тв-ж}$ — поверхностное натяжение соответственно
твердого, жидкого и на границе раздела фаз.

Поверхностное натяжение зависит от ряда физических и хи-
мических факторов. С повышением температуры жидкости по-
верхностное натяжение падает, а при критической температуре
равно нулю. Увеличение температуры выполняет роль ускорителя

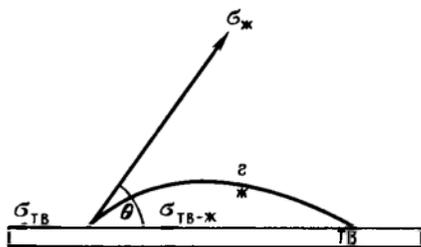


Рис. 2.1. Условия равновесия трехфазной системы при смачивании

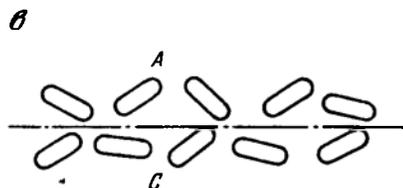
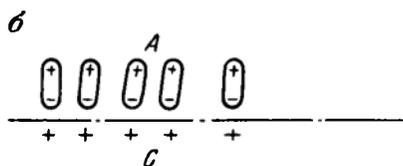
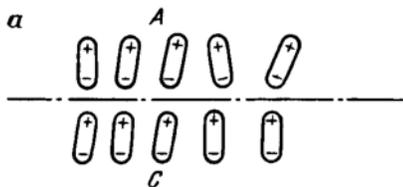


Рис. 2.2. Различные случаи взаимодействия молекул адгезива *A* и субстрата *C* на границе раздела фаз:

a — ориентационные силы (*A* и *C* — полярные вещества); *б* — индукционные силы (*A* — полярное вещество, *C* — неполярное вещество); *в* — дисперсионные силы (*A* и *C* — неполярные вещества)

перемещения поверхностных молекул в объем, препятствуя их обратному перемещению в газообразную фазу. Для большинства органических адгезивов зависимость между поверхностным натяжением и температурой выражается уравнением:

$$\sigma V^{2/3} = k(T_{кр} - T - \delta),$$

где V — молекулярный объем; $T_{кр}$ — критическая температура; T — температура адгезива; k — коэффициент, постоянный для определенного гомологического ряда органических адгезивов.

Краевой угол смачивания определяет энергию на поверхности раздела, т. е. энергию адгезии. Он соответствует углу, образованному поверхностью раздела двух фаз с поверхностью газообразной (воздушной) среды. Как видно из рис. 2.1 адгезив, находящийся на твердой поверхности, образует с ней угол θ , называемый краевым углом смачивания. Советский академик П. А. Ребиндер показал, что адгезив пересекает поверхность субстрата по некоторой линии, названной им периметром смачивания. Исходо из этого и условий равновесия (см. рис. 2.1) краевой угол смачивания определяется

$$\cos \theta = \frac{\sigma_{ТВ} - \sigma_{ТВ-ж}}{\sigma_{ж}} + \frac{f}{\sigma_{ж}}, \quad (2.3)$$

где f — коэффициент, учитывающий силу трения о шероховатую поверхность субстрата.

Если краевой угол смачивания равен нулю, то смачивание полное, если θ более 90° , то смачивание очень трудное. При $\theta = 180^\circ$ смачивание отсутствует. Краевой угол смачивания можно увеличить предварительным взаимодействием связующих с сухим зерном. В результате повышается поверхностная активность субстрата. Улучшаются условия растекания связующего.

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

$$K = \sigma_{\text{тв}} - \sigma_{\text{ж}} - \sigma_{\text{тв-ж}}. \quad (2.4)$$

Коэффициент растекания представляет собой разность энергии адгезии клея к субстрату и энергии когезии самого клея. Он служит мерой смачивающей способности клея. Эта величина характеризует связь строения адгезива и ориентацию его молекул на поверхности субстрата. Связующие, содержащие повышенное число полярных групп, имеют высокие коэффициенты растекания. Если коэффициент растекания положительный, то связующее обладает достаточной смачиваемостью. Если отрицательный, то оно не растекается по твердому и свертывается в виде линзы.

Адсорбция. Смачивание еще не дает основания судить о прочности взаимодействия клея и субстрата. Важно знать интенсивность связей на поверхности раздела двух фаз, где происходит смачивание. В зависимости от характера взаимодействий между молекулами твердой и жидкой фаз, достигается та или иная адгезия.

Рассмотрим два взаимодействующих вещества, у одного из которых молекулярное поле сил интенсивней, чем у другого. Очевидно, молекулы первого вещества будут покидать поверхность с большей статической скоростью. Его концентрация в поверхностном слое станет меньше, чем в объеме. Свободная поверхностная энергия понизится. Концентрация первого вещества на поверхности другого компонента повысится. *Процесс концентрации (сгущения) одного компонента на поверхности другого, сопровождающийся понижением поверхностного натяжения последнего, называется адсорбцией.* Количественная термодинамическая зависимость между адсорбцией и вызываемым ею изменением поверхностного натяжения была установлена Гиббсом:

$$\Gamma = - \frac{C}{RT} \frac{d\sigma}{dC}, \quad (2.5)$$

где Γ — адсорбция; R — универсальная газовая постоянная; T — абсолютная температура; σ — поверхностное натяжение; $-d\sigma/dC = G_0$ — поверхностная активность.

Адсорбция зависит от содержания в адгезиве соединений, которые даже при небольших концентрациях способны понижать

поверхностное натяжение на границе раздела фаз. Такие вещества называются *поверхностно-активными (ПАВ)*. Для них справедливо

$$\Gamma > 0 \text{ и } d\sigma/dC > 0.$$

ПАВ выступают как главная сила адсорбционных взаимодействий. От их содержания зависит интенсивность адсорбционных процессов.

На адсорбцию влияет активность субстрата. Энергия твердого вещества во многом зависит от расположения молекулярных цепей в поверхностном слое. Наиболее высокий энергетический эффект достигается при расположении цепной молекулы перпендикулярно к твердой поверхности, по так называемому типу «частокол» (рис. 2.2, а). Такая ориентация отвечает наименьшему запасу свободной энергии.

Силы адсорбционных притяжений могут быть обусловлены различными межмолекулярными взаимодействиями. Возможно одновременное существование нескольких типов адсорбционных связей. Особо прочная адсорбция достигается за счет чисто химических реакций между связующим и субстратом. *Хемосорбция (химическая сорбция)* — это адсорбция, сопровождаемая образованием химической связи. Последняя характеризует образование устойчивой многоатомной системы, отличающейся высокой энергией взаимодействия. Усиление хемосорбции способствуют добавки ПАВ. Высокая интенсивность адсорбционных взаимодействий присуща электрическим силам (см. рис. 2.2, а, б).

Наряду с указанными видами адсорбционных связей существуют межмолекулярные (дисперсионные) силы. Они свойственны всем молекулам и действуют между любыми атомами независимо от наличия электрического заряда (см. рис. 2.2, в). Особое место принадлежит водородной связи, которая занимает промежуточное положение между межмолекулярными и химическими связями. Водородная связь возникает посредством соединения атома водорода с двумя атомами разных молекул или одной молекулы кислорода, азота, фтора реже хлора, серы и др. Она влияет на структуру и свойства адгезивов.

Работа адгезии. Для разделения двух соприкасающихся (склеенных) тел 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. Основное уравнение адгезии имеет следующий вид:

$$W_a = \sigma_{ж} (1 + \cos \theta). \quad (2.6)$$

Адгезия имеет место в системе субстрат — затвердевший адгезив. Энергия адгезии отлична от энергии смачивания жид-

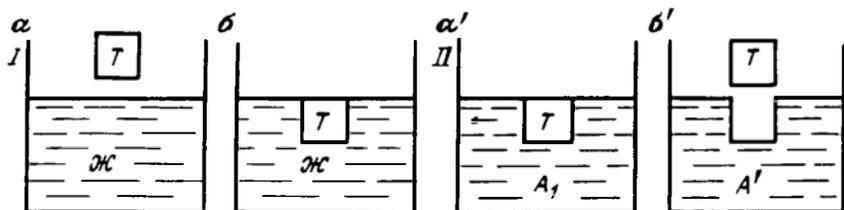


Рис. 2.3. Образование поверхности раздела фаз при смачивании I и ее исчезновение при отрыве твердого тела от адгезива II

ким адгезивом субстрата. Поясним это обстоятельство (рис. 2.3) следующим образом. При погружении твердого тела T в жидкий адгезив $Ж$ (рис. 2.3, положение I $a, б$) образуется поверхность раздела двух фаз, отвечающая смачиванию. Энергетический баланс в такой системе соответствует уравнению (2.1). После смачивания энергия системы непрерывно изменяется. Происходит затверждение расплавленного клея и схватывание его с субстратом. Образуется новая система (рис. 2.3, положение II, a'). Ее энергия отвечает балансу сил

$$E_{\text{адг}} = E_T + E_{A_1} - E_T - A_1.$$

Если твердое тело T удалить из застывшего адгезива A_1 , (рис. 2.3, положение II, $б'$) поверхность раздела исчезнет, а вместо нее появятся две новые поверхности T и A' . Этот процесс можно рассматривать как результат работы адгезии.

Минимально необходимая сила для отрыва прилипшей пленки связующего от твердой поверхности, отнесенная к единице площади, определяет *давление прилипания* (адгезионное давление или удельное прилипание)

$$p_0 = F/S,$$

где p_0 — давление прилипания; F — сила, необходимая для отрыва клеевой пленки от субстрата; S — площадь отрыва.

Особой категорией для оценки адгезии между связующим и твердым телом служит липкость адгезивов. Термин «липкость» характеризует способность связующих к адгезии при незначительном давлении прилипания. Максимальная липкость у связующих проявляется при переходе из стеклообразного в высокоэластичное состояние.

В зависимости от интенсивности контактов между связующим и твердым телом, расслаивание их может характеризоваться следующими типами разрывов: адгезионный — разрыв происходит строго по границе раздела фаз; когезионный — разрыв происходит по адгезину; аутогезионный — разрыв происходит в месте слияния твердых частиц, поверхность которых покрыта связующим; смешанный — разрыв происходит с одновременным на-

рушением объемных фаз и сил сцепления на границе раздела фаз.

Адгезионный разрыв отмечается в случаях, когда силы взаимодействия между адгезивом и субстратом на границе раздела фаз значительно ниже когезионной и аутогезионной прочности. Аутогезионный разрыв возможен в случаях крайне слабой связи между клеевыми пленками, покрывшими твердые частицы. Он характерен для сильно отвердевших связующих. Адгезионный и аутогезионный тип разрыва встречаются редко. В тех случаях, когда прочность адгезива невысокая, обычно осуществляется когезионный тип разрыва. Для большинства случаев присущ наиболее благоприятный смешанный тип разрыва.

Для объяснения многогранных явлений прилипания и склеивания существует ряд обособленных теорий адгезии (адсорбционная, диффузионная, электрическая, электрорелаксационная, механическая и др.).

2.1.2. Факторы, определяющие прочность адгезионного соединения

Адгезия зависит от физических и химических свойств адгезива и субстрата. Особое значение имеют температура, давление и время контакта, строение поверхности субстрата, степень полимеризации, полярность и структура адгезива, а также природная совместимость взаимодействующих веществ.

Увеличение температуры интенсифицирует диффузию адгезива в поры и трещины субстрата. Повышается адгезия. Давление в месте контакта способствует равномерному распределению клея по поверхности субстрата. Повышается контакт между адгезивом и субстратом вследствие роста упругих и пластических деформаций. Время контакта увеличивает глубину проникновения продиффундировавших молекул связующего в поры субстрата.

На адгезию сильное влияние оказывают свойства и рельеф поверхности субстрата. С увеличением шероховатости возрастает истинная площадь контакта. Улучшаются условия микро-реологического процесса диффузионного проникновения связующего в микро- и макродефекты субстрата. Каждой твердой поверхности свойственна своя топография особых активных центров — высокорекреационных участков. Они располагаются на гранях, ребрах и выступах поверхности субстрата, способствуя росту адгезии.

Отрицательно влияет на адгезию высокая пористость. Резко возрастает инфильтрация (проникновение, диффузия) низкомолекулярных соединений адгезива в поры субстрата. Клеевая прослойка теряет эластичность и липкость.

Влияние природы связующего на адгезию прежде всего связано с молекулярной массой, формой макромолекул и поляр-

ностью. С понижением молекулярной массы увеличивается подвижность адгезива, но уменьшается когезия. Отсюда низкая адгезия всего комплекса. Адгезив с высокой молекулярной массой характеризуется малой диффузионной способностью. Оптимальные клеящие свойства проявляются у адгезива со средней молекулярной массой.

Форма макромолекул определяет степень упорядоченности и прочность элементов его структуры.

Полярность адгезива зависит от числа функциональных (полярных) групп, приходящихся на единицу площади контактирующих поверхностей. Полярные группы оказывают положительное влияние на адгезию лишь до определенного содержания. Существенное значение имеет расположение (ориентация) в поверхностном слое функциональных групп. Ориентация на границе контакта по типу «частокол» (рис. 2.4) дает наивысшую адгезию, плоскостная ориентация — минимальную прилипаемость. Ориентация по типу III и IV занимает промежуточное положение.

На прочность адгезионного комплекса влияет толщина клеевой пленки. Клеевая пленка состоит из двух слоев — граничного (адсорбционного) и объемного. Граничный слой находится в непосредственном контакте с субстратом. За счет этого в нем образуются цепи ориентированных молекул, простирающихся вглубь адгезива. Цепной эффект максимально проявляется в тонких пленках, обеспечивая высокую адгезию. В граничных слоях более высокая когезия. По мере удаления элементарного слоя связующего от твердой поверхности его свойства перестают претерпевать изменения. Граничный слой переходит в объемный, свойства которого отвечают свойствам исходного адгезива.

Образование прочных структур в тонких пленках (толщина слоя — до 10 мкм) зависит от интенсивности адсорбционного взаимодействия адгезива с субстратом. Эти контакты приводят к упорядочению и упрочению структуры адгезивов, т. е. к структу-

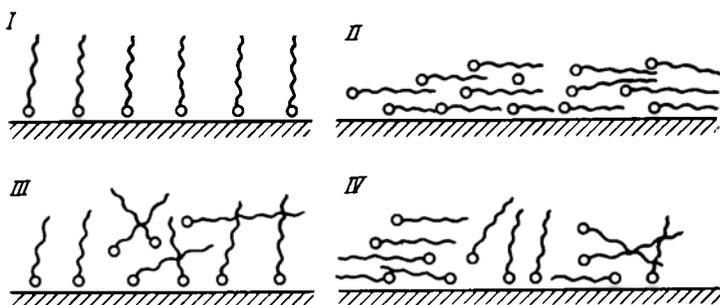


Рис. 2.4. Ориентация молекул адгезива в поверхностном слое:
I — «частокол»; II — плоскостная; III — дезориентированная; IV — смешанная

рированию. *Структурирование пленки адгезива — процесс, когда молекулы адгезива соединяются в единую прочную пространственную сетку.* Наиболее структурированной считается пленка, так называемой «критической» толщины. В ней максимальна высота граничного слоя с наиболее плотно упакованными структурами и минимальна объемная фаза. Получить пленку «критической» толщины можно путем многократного нанесения тончайших пленок друг на друга. В толстых пленках (толщина более 10 мкм), как правило, появляется большое число дефектов. Они усиливают усадочные и внутренние напряжения, уменьшая адгезию.

Влажность существенно влияет на качество клеевого шва; она способствует уменьшению адгезии и разрушению адгезионного соединения. Отрицательное действие влаги проявляется при проникновении ее в объем адгезива, на поверхности субстрата, а также на границе раздела фаз. Влага пластифицирует и даже разрушает адгезив. Однако ее полное отсутствие нежелательно. Безводная пленка сильно стягивается. В ней появляются дефекты. Возникают условия отслаивания связующего с поверхности субстрата.

Влажный субстрат имеет слабую адгезию со связующим. Влага, находящаяся на поверхности твердого тела, создает гидратную пленку. Последняя ослабляет адсорбцию на нем адгезива.

Вода, попавшая в клей или субстрат, в конечном итоге достигает пограничной зоны контакта двух фаз. В результате на границе раздела возникает расклинивающее давление, ослабляющее адгезию. *Расклинивающее давление — это давление, с которым действует в состоянии равновесия слой жидкости на ограничивающие его тела, стремясь их раздвинуть.* Причинами возникновения расклинивающего давления являются межмолекулярные взаимодействия и электрические силы, образующие двойной электрический слой на границе раздела фаз.

2.1.3. Аутогезия и когезия в процессах склеивания

В такой сложной системе как брикет процессы структурообразования не ограничиваются созданием комплекса адгезив — субстрат. Одновременно происходит контактирование этих комплексов между собой. Прочность последних определяется аутогезией между пленками адгезивов и когезией связующих.

Аутогезия представляет собой частный случай адгезии. Все установленные выше закономерности для адгезии присущи аутогезии. Советский ученый С. С. Воюцкий трактует *аутогезию как самослипание двух приведенных в соприкосновение поверхностей одного и того же вещества, препятствующее их разделению по месту контакта.* 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 самопроизвольное слияние (коалесценция) пленок адгезива.* Она происходит под влиянием молекулярных сил, проявляющихся в понижении свободной поверхностной энергии. Коалесценция в первоначальный период сопровождается прилипанием за счет обоюдного смачивания контактирующих слоев адгезива. Поверхностное натяжение на границе раздела двух слоев одного и того же адгезива в первоначальный момент будет ниже, чем в объеме, и отвечает условиям уравнения

$$\sigma_{I-II} = \sigma_I - \sigma_{II}$$

где σ_{I-II} — поверхностное натяжение на границе раздела I и II слоев адгезива; σ_I и σ_{II} — то же, для каждого слоя в отдельности.

Чтобы отделить I слой от II, 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 максимальная 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 клеевого 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 вязко-текучего 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 вязкость 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 них молекулы ориентированы друг к другу. Поэтому слипание происходит не только за счет самодиффузии (скачкообразный переход молекул или их сегментов в новое равновесное положение), но и межмолекулярных взаимодействий адсорбционных слоев. В толстых пленках аутогезия невелика, но постоянна. Аутогезия растет с увеличением молекулярной массы адгезива.

Когезия. Прочность клеевого соединения во многом зависит от прочности самого клея, т. е. является функцией когезии. *Когезия характеризует интенсивность молекулярных взаимодействий в объеме адгезива и служит критерием оценки прочности связующего.* Поскольку когезия обусловлена различными внутримолекулярными связями, она тесно связана с адгезией. Когезия достигает своего полезного максимума, когда она равна адгезии (условия идеальной когезионной прочности адгезива). На практике когезия связующих ниже адгезии.

Работу адгезии можно сравнить с работой когезии. Обе они характеризуют работу, необходимую для разделения в одном случае адгезива и субстрата (работа адгезии), в другом — столбика адгезива сечением 1 см^2 на две части. Отсюда, используя известное уравнение работы адгезии (2.6), получим работу когезии ($\theta = 0$)

$$W_k = 2\sigma_{ж}.$$

На практике когезия всегда отлична от $2\sigma_{ж}$.

Важнейшее свойство, определяющее когезию — сопротивление разрыву. Разрушение адгезива за счет приложения напряжений можно рассматривать как последовательный процесс. Начинается он у опасной трещины, где перенапряжения близки к теоретической прочности. С ростом трещины увеличивается среднее напряжение на оставшемся уменьшенном сечении. Появляются новые дефекты. Наконец, слияние всех трещин приводит к разрушению образца.

Механическая прочность адгезивов — 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 ПАВ, наполнителей и воды.

Повышение температуры резко снижает когезию связующих. Как видно из рис. 2.5, рост температуры от 20 до 80° С уменьшает когезию нефтесвязующих примерно в 8 раз. Падение проч-

ности прежде всего связано с энергией тепловых флуктуаций, способствующих разрыву химических связей. Когезия максимальна в тонких пленках. Утонение 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.

Когезионные силы, которые обуславливают сцепление внутри адгезивов, бывают двух типов: силы главных валентностей и межмолекулярные силы. Когезионные силы главных валентностей зависят во многом от интенсивности химических связей, определяющих степень кристаллизации. Существенное влияние на величину когезии оказывает содержание различных функциональных групп.

При контакте адгезива с водой возможно проникновение ее молекул в пространство между цепными молекулами связующих. Заполняя эти пустоты, вода оказывает расклинивающее действие. Ослабляются силы притяжения между молекулами. Прочность адгезива падает. Чрезмерная насыщенность пленки адгезива водой может привести к полному ее растворению. Неполярные адгезивы, хотя и устойчивы к растворяющему действию воды, но так же проницаемы.

2.1.4. Гипотеза процесса образования брикетов со связующими

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

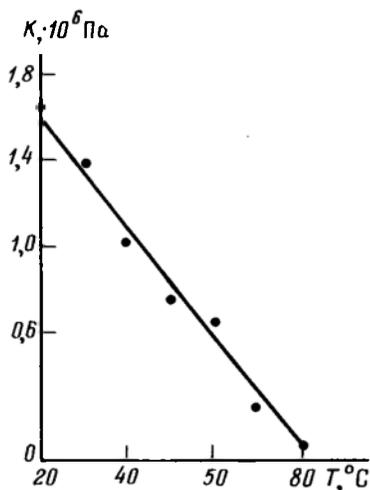


Рис. 2.5. Зависимость когезии K нефтесвязующих от температуры T

процесса склеивания. Вначале жидкое связующее наносят на твердые зерна (первый этап). Затем их переводят к вязкотекучее состояние (второй этап). Соединяют комплексы прессоованием (третий этап). Наконец, охлаждением брикетов связующие переводят в твердое состояние (четвертый этап). Каждому этапу структурообразования присущи свои специфические особенности и характерные требования.

Брикет из любых полезных ископаемых со связующими можно рассматривать как дисперсную систему, где дисперсионная среда — связующее, а дисперсная фаза — полезное ископаемое. Для такой системы характерны специфические процессы взаимного расположения и взаимосвязи ее отдельных элементов. Базируются они на рассмотренных ранее явлениях адгезии, аутогезии и когезии.

Общая картина механизма структурообразования брикетов со связующими следующая. Процессы адгезионного взаимодействия твердых частиц со связующим приводят к интенсивному их прилипанию. В результате в связующем происходят значительные структуро-химические изменения. В клеевой пленке появляются два слоя: *адсорбционный*, вязкость, плотность и прочность которого убывают по мере удаления от твердой поверхности, и *объемный*, который по своим свойствам не отличается от исходного связующего.

Дальнейшие процессы структурообразования обусловлены аутогезией. Для нее характерно прилипание контактирующих пленок связующего. В зависимости от того, по какому из полу-слоев 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.

Однако как бы тщательно не перемешивалась брикетная смесь, обеспечить равномерное покрытие клеевой пленкой каждое твердое зерно невозможно. В период взаимодействия субстрата и связующих происходит определенная «коалесценция» твердых зерен вокруг тонкодисперсных частиц связующих. Образуются малопрочные субстратсвязующие комплексы (ССК) (рис. 2.6).

ССК — это первичные структурные образования, в которых дисперсные частицы выполняют роль активного наполнителя, а связующее — роль дисперсионной прослойки. Чем энергичней протекает процесс смешения, выше температура, тоньше распылено связующее и мельче полезное ископаемое, тем устойчивей ССК. В зависимости от действия названных факторов образуются ССК различных типов. Если содержание твердого в ССК незначительное, его основу составляет связующее. Прочность такого комплекса целиком определяется когезией связующих. Преобладание ССК подобной структуры приводит к обра-

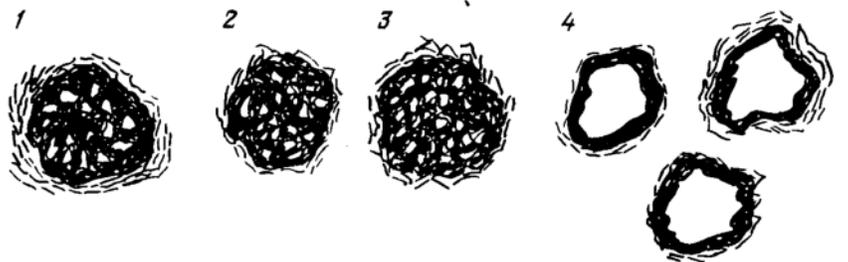


Рис. 2.6. Первичные структурные элементы системы субстрат — связующий комплекс различных видов:

1 — 3 — тип соответственно первый, второй, третий; 4 — отдельные зерна, покрытые связующим



Рис. 2.7. Вторичные ассоциаты

зованию малопрочных брикетов. Чрезмерное наполнение ССК дисперсными частицами также отрицательно влияет на прочность брикетов: уменьшается число прослоек связующего между отдельными зернами вплоть до их исчезновения. Связующее в таком комплексе находится в основном в структурированном виде. Объемный слой очень мал. Рассматриваемые комплексы составляют второй тип ССК. Структуру ССК третьего типа составляют образования по своим свойствам, занимающие промежуточное положение между ССК первого и второго типов. Они дают наиболее высокий эффект упрочения брикетов.

По мере повышения вязкости всей брикетной смеси субстрат — связующие комплексы и отдельные зерна, покрытые связующим, контактируют между собой. В результате образуются более крупные объединения — *вторичные ассоциаты* (рис. 2.7). Взаимодействия внутри ассоциатов происходят за счет аутогезионных связей. В начальный момент контакты идут по объемным слоям. В дальнейшем усиливаются диффузионные процессы. На прочность аутогезии влияют связи, возникшие за счет механического застревания молекул связующего, переходящих из одного слоя в другой. В зависимости от эффекта наполнения ССК и обволакивания отдельных зерен связующим внутри вторичных ассоциатов создается различная энергия аутогезии. Если преобладают ССК и крупные зерна с большим содержанием объемного слоя связующего, образуются очень большие ассоциаты или даже целый массив. Поверхность их покрывается довольно толстой пленкой высоковязкого и липкого клея. Брикеты низко-

прочны и легко слипаются. В случае чрезмерного наполнения комплексов и слабого покрытия связующим крупных зерен аутогезия также невелика.

С повышением вязкости аутогезионная связь между сильно-структурированными оболочками ССК может вообще не возникнуть. В этом случае прессованию будут подвергнуты лишь первичные образования. Для их уплотнения потребуются большие усилия. Возникнут чрезмерно высокие упругие деформации, которые ослабят структурный каркас брикетов. Максимальная аутогезия достигается, когда во вторичных ассоциатах преобладают ССК третьего типа. Для этих ассоциатов характерно образование прочно упакованных структур с минимальным упругим последствием. Брикеты отвечают максимальной прочностью.

Для образования брикетов необходимо приложить усилия, которые создают плотную упаковку отдельных угольных зерен, субстрат — связующих комплексов и вторичных ассоциатов. Давление прессования вызывает контактирование по адсорбционным слоям клеевой пленки и высокое внутреннее трение всей системы. Отдельные стадии уплотнения брикетной смеси показаны на рис. 2.8. В момент соприкосновения разобщенных вторичных ассоциатов связь между ними осуществляется исключительно за счет аутогезионных контактов по объемному слою связующего. Расстояние между вторичными ассоциатами превышает сумму толщин структурированных оболочек связующего. Сила сцепления внутри такой рыхлой и вязкой системы мала (см. рис. 2.8, а). С приложением давления начинается процесс аутогезионного упрочения брикетной смеси. Связующее начинает течь и самодиффузия приобретает направленный характер. Усилия прессования обеспечивают начало сближения твердых зерен и ССК до соприкосновения адсорбционных слоев связующего (см. рис. 2.8, 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 и ССК на расстояние, меньшее суммы толщин адсорбционных слоев (см. рис.

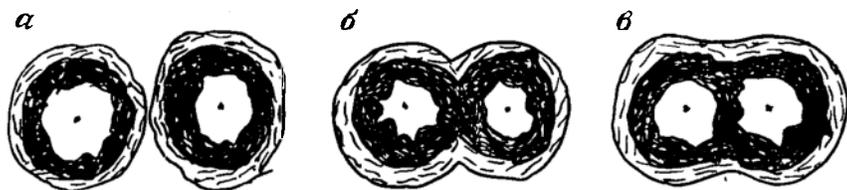


Рис. 2.8. Отдельные стадии уплотнения брикетной смеси при прессовании: а — начальная фаза прессования; б — контактирование по адсорбционным слоям пленки связующего; в — конечная фаза прессования

2.8, а). В результате аутогезия образовавшейся новой структуры приближается к когезии адсорбционных структурированных оболочек. Равенство аутогезии и когезии достигается, когда клеевые прослойки близки к толщине одного граничного слоя. 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.

2.2. ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ПРОЦЕСС БРИКЕТИРОВАНИЯ СО СВЯЗУЮЩИМИ

Гранулометрический состав. Значение гранулометрического состава определяется влиянием суммарной поверхности соприкосновения зерен, числом и величиной пустот в структурном каркасе брикетов, содержанием остроугольных 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. 2.9). В такой структуре массовое и объемное соотношение зерен достаточно полно может характеризоваться эмпирическим уравнением

$$P = 100\sqrt{d/D}, \quad (2.7)$$

где P — доля зерен (% по массе), проходящих через сито с диаметром отверстий, равным d ; d — диаметр любого зерна смеси от 0 до D ; D — максимальный диаметр зерна смеси.

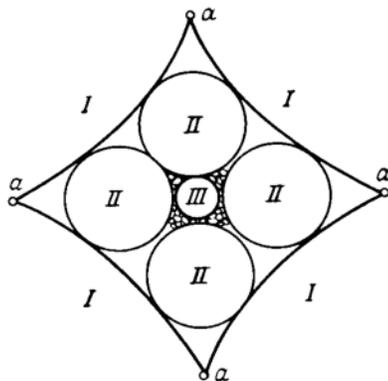


Рис. 2.9. Схема структуры с наиболее плотной упаковкой зерен диаметрами I, II, III и т. д. в смеси

Объем смеси (%) рассчитывается по формуле

$$V = (1 + \varepsilon + \varepsilon^2 + \varepsilon^3 + \dots + \varepsilon^n) / (1 + \varepsilon), \quad (2.8)$$

где ε — коэффициент пористости, равный $P/(100 - P)$; P — пористость, %; n — число элементарных классов крупности в смеси.

Для уравнения (2.7) максимальная плотность смеси достигается при соотношении $d/D = 1/20$; для уравнения (2.8) — при $P = 26\%$.

Для большей наглядности гранулометрический состав зерен полезного ископаемого графически изображают в виде *кривых суммарных характеристик крупности*. При построении графиков на оси абсцисс в линейном масштабе откладывают размеры отверстий сит d (мм), а по оси ординат суммарный выход классов (%). Использование таких кривых для смесей с широким диапазоном крупности зерен чрезвычайно затруднено, так как приходится строить непомерно большие графики. В таких случаях удобнее пользоваться логарифмической шкалой, что позволяет перейти к прямой линии. Последняя довольно точно характеризуется углом наклона и координатами одной ее точки. Пользуясь гранулометрической характеристикой в логарифмических координатах, можно установить наличие закономерности распределения в материале зерен по крупности.

Суммарные характеристики крупности описываются аналитическим уравнением Розина—Раммлера, которое имеет следующий вид:

$$R = 100e^{-bd^n},$$

где R — суммарный выход класса крупнее d (остаток на сите), %; d — размер отверстий сита, мкм; b и n — постоянные коэффициенты уравнения (параметры, зависящие от свойств материала и размерности d).

Используя это уравнение, можно определить зависимость между R и d , оптимальный верхний предел крупности, число зерен в любом классе, удельную поверхность и др. Зная значения указанных величин, можно выбрать гранулометрический состав, обеспечивающий наиболее плотную упаковку зерен в смеси.

Удельная поверхность зерен смеси определяет тонкослоевое распределение и структурируемость связующих, а также долю адсорбционных контактов. Чем выше число зерен, тем больше активных центров — элементов поверхности, в которых сосредотачиваются атомы с незаполненными валентностями.

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 растрескиваются. Появляются новые поверхности, непокрытые связующим. Наличие пылевидных частиц приводит к повышению удельной поверхности, а, следовательно, и возрастанию расхода связующих, что способствует уплотнению брикетов в результате активного заполнения пустот.

На плотность упаковки брикетов существенно влияет порозность структуры. Как бы тщательно не были упакованы твердые зерна в брикеты, между ними всегда есть поры (см. рис. 2.9). Число и величина пустот влияют на прочность 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 реакционноспособные свободные радикалы, активно взаимодействующие между собой и связующим. В результате нагрева достигается тонкослойное 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 горя-

чим 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.

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, т. е. содержания соединений неопредельного характера. 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.

Тонкослоевое растекание связующих тесно связано с их дисперсностью, которая обуславливает качественное покрытие связующим поверхности брикетируемых 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 клеящие пленки, но имеют в момент контакта большую температуру. Они лучше растекаются по твер-

дой 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.

Оптимальный дисперсный состав нефтесвязующего, распыленного через механические форсунки (давления распыления 1 МПа, температура 180—200° С), приведен на рис. 2.10.

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 прилипнуть 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.

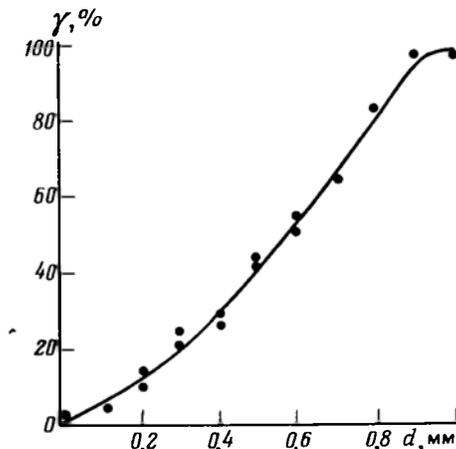


Рис. 2.10. Дисперсный состав распыленного нефтесвязующего

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 тонкослоевого 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.

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.* Пластичность как проявление подвижности брикетной смеси характеризует ее с точки зрения прессования. Она охватывает состояние подвижности смеси, внутреннего трения, сцепления, прилипания, упругости и т. д. 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 ре-

зультате нарастания усилий. Плотность брикета определяется давлением прессования, сопротивлением смеси деформациям, объемом получаемого брикета, гранулометрическим составом, характером поверхности зерен, а также продолжительностью сжатия.

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

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

где F — деформирующая сила H ; S — поверхность сдвига, на которую она действует, см²; N — предельное напряжение сдвига, Па; η — вязкость, Па·с; dv — разность скоростей двух частиц материала, находящегося на расстоянии dh по перпендикуляру к направлению движения; dv/dh — градиент скорости.

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 внешних усилий вызывают упругое последствие или релаксацию.*

В процессе деформации значительно изменяется внутреннее трение. Оно зависит от температуры, интенсивности уплотнения, образования поверхности скольжения и других видов перегруппировки частиц. Поверхность скольжения в пластическом материале — это тонкий слой, в котором относительное смещение твердых зерен значительно больше, чем в других местах смеси. Поверхность скольжения является местом сосредоточения деформации. Механизм ее образования следующий. В местах, где сдвигающие усилия имеют небольшое значение, материал деформируется сильнее. Если напряжение в них превышает предел текучести, происходит разрыв.

Чем равномернее распределено давление по поверхности брикета, тем прочнее его структурные связи. Поэтому в брикетах малого объема и небольшой высоты значительно действие сил трения и высока прочность. С приложением давления прессования происходят внутрискруктурные физико-химические изменения. В момент приложения давления прессования соприкасающиеся поверхности, покрытые связующим, начинают внедряться друг в друга выступающими неровностями. Сближаются контактирующие ча-

стицы и одновременно вытесняется объемный слой связующих во впадины и пустоты каркаса. Степень сближения с повышением внешних усилий возрастает. На прочность брикета положительно влияет увеличение времени прессования.

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.

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 охлаждающего 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.

2.3. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ БРИКЕТИРОВАНИЯ БЕЗ СВЯЗУЮЩИХ

В данном разделе общие закономерности структурообразования брикетов без связующих веществ рассматриваются на примере брикетирования бурых углей и пылевидного рудного сырья.

2.3.1. Механизм структурообразования буроугольных брикетов

Бурые угли можно рассматривать как специфический обводненный аморфный полимер нерегулярного строения. Его свойства во многом определяются процессами коллоидного набухания. Брикетирование таких веществ следует представить как сложный многоступенчатый процесс образования прочного аутогезионного комплекса за счет высоких давлений прессования. Существует несколько гипотез механизма образования брикетов из бурых углей.

Коллоидная гипотеза. По этой гипотезе брикетируемость бурых углей оценивается с позиции действия молекулярных сил. Основу ее составляет механизм взаимодействия между угольными частицами в присутствии воды и без нее. По этой гипотезе образование брикетов объясняется действием когезионных сил сцепления.

Бурый уголь рассматривается как система, состоящая из двух фаз — жидкой и твердой. Последняя представлена мельчайшими гуминовыми частицами, которые при наложении усилий уплотняются. При сближении частиц угля до расстояний, когда начинают действовать молекулярные силы, происходит сцепление поверхностных слоев с образованием брикетов. Прочность брикетов зависит от числа точек контакта и расстояния между центрами тяжести взаимодействующих частиц. Поверхность контакта связана с гранулометрическим составом углей и расположением частицы в структурном каркасе брикетов. Прессование приводит к изменению поверхности контакта. Под действием давления угольные частицы занимают наиболее энергетически устойчивое положение.

Структурные перестройки в брикетируемом материале происходят до полного упорядочения внутренних связей. Энергия этих связей оценивается электрическим потенциалом молекулярной пространственной решетки, узлы которой заняты аполярными и полярными молекулами. Основными факторами, влияющими на структурные перестройки в процессе образования брикетов, являются давление прессования и содержание влаги в угле.

Давление благоприятствует структурообразованию брикетов до определенного предела. Большие давления прессования вызывают не только притяжение частиц, но и отталкивание. Прочность брикета определяется результирующей сил притяжения над силами отталкивания. Они проявляются в виде упругого расширения брикетов после снятия давления прессования.

Влага оказывает влияние на прочность брикетов двояко. При недостатке ее затрудняется скольжение частиц. Они не могут

занять наиболее выгодное энергетическое положение, необходимое для образования прочных брикетов. При повышении содержания влаги увеличивается расстояние между отдельными зернами и уменьшаются силы сцепления. Образуются непрочные брикеты. В целом роль воды оценивается положительно. Она является смазкой, уменьшающей трение при уплотнении частиц.

Гипотеза не отрицает возможности сцепления частиц, если на их поверхности сосредоточена адсорбционная и даже капиллярная влага. В местах, где находится адсорбционная влага, прочность сцепления определяется силами взаимодействия адсорбционных водных пленок. Наличие капиллярной влаги нарушает молекулярное сцепление между частицами. Образование брикетов в этом случае идет за счет действия капиллярного давления вогнутых менисков.

На вышеописанные процессы большое влияние оказывает температура. С ее повышением часть влаги с угольной поверхности присоединяется к капиллярной. Улучшаются условия скольжения частиц. Они лучше уплотняются. При остывании брикетов часть капиллярной влаги переходит вновь в адсорбционную. Это способствует росту прочности брикетов.

По коллоидной гипотезе предполагается, что в результате приложения давления прессования бурые угли деформируются. Капиллярная влага вытесняется на поверхность зерен, заполняя их промежутки. После снятия давления происходит обратный процесс. Хотя часть воды остается в точках контакта.

В целом по коллоидной гипотезе влагу оценивают как связующую прослойку, способствующую скольжению частиц друг относительно друга. В зависимости от свободы движения скользящих слоев достигается тот или иной эффект сцепления и упрочнения брикетов.

Капиллярная гипотеза. По капиллярной гипотезе бурый уголь рассматривается как затвердевшее вещество, пронизанное во всех направлениях многочисленными капиллярами. Последние из-за наличия в бурых углях большого количества гидрофильных соединений (гуминовые кислоты, минеральные включения и др.) скапливают в себе влагу. Давление внутри капилляров приводит к сцеплению мелких зерен в более крупные. Последние хотя и обладают достаточной прочностью, но при испарении воды разрушаются. Число и размеры капилляров есть функция метаморфизма угля.

В бурых углях влага бывает связанной с угольной поверхностью (адсорбционная) и капиллярной. Капиллярная влага обычно находится в узком пространстве между отдельными зернами угля. Она выступает как сила, удерживающая твердые зерна за счет капиллярного давления вогнутых менисков.

Капиллярная гипотеза трактует образование брикетов действием молекулярных сил сцепления и сил сцепления водных пле-

нок. Бурый уголь рассматривается как упругий неэластичный гель, обладающий большой внутренней поверхностью. Угольный гель — это множество капилляров, внутри которых содержится вода. При дроблении угля капилляры разрушаются. Вода из них переходит в промежутки между зернами. В процессе термической сушки она испаряется. Капилляры деформируются. Твердое зерно претерпевает усадку. С приложением усилий прессования часть воды выдавливается из капилляров, заполняя промежутки между зернами (так называемые вторичные капилляры). В местах контакта зерен через водный слой возникают силы капиллярного натяжения. Они способствуют адсорбции выдавленной воды на твердой поверхности.

Силы адсорбционного притяжения пропорциональны величине поверхности натяжения и обратно пропорциональны расстоянию между зернами угля. Толщина адсорбционной пленки оказывает существенное влияние на прочность брикетов. Тонкие пленки обладают максимальной адгезией к углю. Они стремятся самопроизвольно сжаться и уменьшить до минимума свою поверхность. В результате образуется прочный комплекс из угольных зерен, сжатый водой. Давление прессования способствует тесному контакту между зернами, где возникают дополнительные силы сцепления за счет молекулярных связей. Наивысший эффект в тонких пленках достигается, когда адсорбционный слой равен диаметру одной молекулы воды. В этом случае каждый диполь воды ориентируется на угольной поверхности по типу «частокол», связывая отдельные зерна.

Такой адсорбционный слой подготавливается предварительной сушкой угля. Если адсорбционная водная пленка толстая (более нескольких диаметров молекул), то капиллярные силы сцепления незначительные.

Прочность комплекса связанных угольных зерен очень мала. Такие комплексы характерны для углей с крупными капиллярами. Из них вода выдавливается легко и почти полностью. Следует обратить внимание, что недостаток воды затrudняет скольжение частиц друг относительно друга. Требуются повышенные давления прессования, разрушающие угольные зерна. Прочность брикетов очень низкая.

Капиллярная гипотеза придает большое значение гранулометрическому составу угля и содержанию крупных зерен. Они обуславливают величину адсорбционной водной пленки, толщину и разветвленность вторичных капилляров.

Таким образом, капиллярная гипотеза утверждает, что количественное изменение содержания влаги в угле неизбежно вызывает качественные сдвиги в интенсивности сцепления между брикуетируемыми зернами. В зависимости от толщины адсорбционной пленки достигается различная прочность брикетов. Максимальная прочность брикетов отмечается при мономолекулярной

пленке воды. Эта гипотеза отвергает возможность брикетирования абсолютно сухого угля.

Битумная гипотеза. По битумной гипотезе брикетирование бурых углей представляется как процесс, аналогичный брикетированию полезных ископаемых со связующим. Считается, что роль связующих исполняют битумы, содержащиеся в бурых углях. Битумы бурых углей представляют собой продукты разложения смол, восков и жирных кислот. Они состоят из смеси углеводородов, спиртов, кислот и эфиров. Содержание битумов в молодых бурых углях составляет 10—20%. Битумы плавятся при температуре, близкой к 90° С. В расплавленном состоянии битумы обладают хорошей клеящей способностью. При охлаждении они переходят в твердое состояние и приобретают достаточно высокую прочность.

Теоретическая концепция битумной гипотезы сводится к следующему. В процессе брикетирования под влиянием повышенных давлений и трения уголь нагревается. В самой узкой части формовочного канала штемпельного пресса (букеле) уголь нагревается до 250—300° С. Выделяющиеся при этой температуре битумы обволакивают тонкой равномерной пленкой угольную поверхность.

Битумная пленка в условиях повышенных давлений прессования связывает отдельные зерна в брикет. В качестве основного аргумента справедливости данной гипотезы ее авторы выдвинули цвет брикета. Выходящие из пресса буроугольные брикеты имеют черный цвет и яркий блеск, характерные для битумов. Битумная пленка на поверхности предохраняет брикет от разрушающего воздействия влаги, так как она гидрофобна и придает брикету прочность.

Содержание битумов и влаги в бурых углях должно быть в определенном соотношении. Вода, испаряясь в процессе прессования угля, предохраняет битум от разложения. Недостаток влаги приводит к разрушению структуры битума и потере им связующих свойств. Брикеты получаются хрупкие. В случае, если содержание битумов в бурых углях большое, то возможно брикетирование углей с низким содержанием влаги. Вредное влияние малых количеств воды может быть компенсировано большим содержанием битумов.

Битумная гипотеза удачно подтверждает необходимость обязательного присутствия в угольной шихте мелкозернистых и пылевидных частиц. Эти зерна обеспечивают большую поверхность клеевой пленки и сравнительно легкое выделение битумов.

Противники битумной гипотезы, опровергая ее, доказали возможность брикетирования бурых углей после экстрагирования (выделения) из них битумов. Однако данное обстоятельство не может быть серьезным аргументом против этой гипотезы. В бу-

рых углях присутствуют в достаточных количествах пиробитум и другие вязкие пластичные продукты.

Гуминово-кислотная гипотеза. По гуминово-кислотной гипотезе брикетируемость бурых углей находится в прямой зависимости от содержания в них гуминовых кислот. Последние выступают в роли связующих, выделяясь в брикетируемом угле в процессе приложения давления прессования.

Гуминовые кислоты — это соединения, содержащие в большом количестве различные полярные группы. Они обладают сильно разветвленной поверхностью и способны к набуханию. С усилением метаморфизма углей содержание в них гуминовых кислот и их солей падает.

Чем больше в бурых углях гуминовых кислот, тем выше их влажность и лучше брикетируемость. Это обстоятельство выдвигается в качестве основы гуминово-кислотной гипотезы. Ее авторы доказывают, что гуминовые кислоты, обладающие сильным диполем, ориентируются строго определенно. В результате проявляются силы молекулярного сцепления между угольными зернами. Взаимосвязь их усиливается с приложением давления прессования. Противники рассматриваемой гипотезы на ряде опытов доказали возможность брикетирования бурого угля после экстрагирования гуминовых кислот.

Гуминово-кислотная гипотеза по своей сущности ограничена силами сцепления, связанными лишь с присутствием гуминовых кислот и их солей. Отсутствие последних в угле не дает возможности его брикетирования.

Таким образом, гуминово-кислотная гипотеза может быть применима к молодым землистым бурым углям с большим содержанием свободных гуминовых кислот. Брикетирование таких углей не требует больших усилий прессования. Для объяснения брикетируемости углей с низким содержанием гуминовых кислот она неприемлема.

Гидратационно-молекулярная гипотеза брикетирования бурых углей является одной из наиболее современных и совершенных разработок, объясняющих механизм структурообразования угольных брикетов без связующих веществ. Эта гипотеза разработана советским ученым И. Е. Святцем.

По данной гипотезе основными параметрами, определяющими брикетируемость, являются остаточная влага после сушки и крупность угля. В результате сушки происходит усадка, которая сближает структурные элементы угля и усиливает их межмолекулярное взаимодействие. Однако чрезмерная сушка приводит к резкому падению текучести зерен при прессовании. Снижается прочность брикетов. Оптимальные показатели достигаются, когда зерна крупностью более 1 мм содержат во внутренних слоях капиллярную, а в наружных — гидратную влагу. Пластичность такого угля ниже, чем у зерен менее 1 мм.

Для создания условий достаточного сцепления угольных частиц при сжатии необходима пластификация их наружных поверхностей. Она заключается в восстановлении на активных центрах сорбированной гидратной пленки за счет действия межмолекулярных сил. Выравнивание свободной внутренней влаги в зернах происходит в результате выдавливания избыточной капиллярной влаги из крупных зерен. Последняя связывается с внешней поверхностью частиц и создает на ней плотный гидратный слой.

Сцепление зерен менее 1 мм осуществляется при неполностью заполненном слое воды по наружным поверхностям и внутри зерен. Молекулярное сцепление данная гипотеза трактует как первичный акт. Последующим этапом является выжимание влаги из первичных капилляров во вторичные (промежутки между зёрнами угля). Влага вторичных капилляров дополняет общую влажность взаимодействия между частицами брикетируемой смеси.

Таким образом, оптимальное соотношение адсорбционной и капиллярной влаги в наружных и внутренних слоях узких классов крупности сухого угля и количество выдавливаемой влаги при определенном давлении прессования являются основными параметрами гидрационно-молекулярной гипотезы.

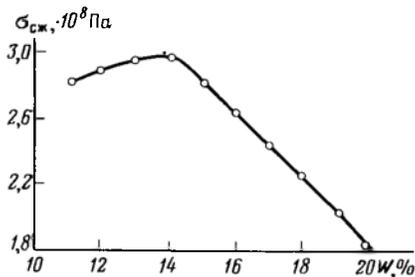
Рассмотренные гипотезы брикетирования углей в большинстве своем односторонние. Так, битумная и гуминово-кислотная гипотезы дают упрощенное объяснение структурообразованию брикетов. По ним не ясна роль капиллярной структуры и влияние гелеобразного коллоида бурых углей. В то же время отдельно взятые капиллярная и молекулярная гипотезы не дают удовлетворительного объяснения влияния физико-химических и структурно-реологических свойств бурого угля на процесс брикетирования. Гидрационно-молекулярная гипотеза, хотя и учитывает важнейшие свойства и параметры брикетирования, также имеет недостатки. Однако изучение основных положений и критика этих гипотез позволяют достаточно глубоко представить общую картину процесса получения буроугольных брикетов без связующих.

2.3.2. Основные факторы, влияющие на процесс брикетирования бурых углей

Среди большого числа факторов, влияющих на процесс получения прочных брикетов из бурых углей, необходимо выделить следующие.

Влажность бурого угля. Влияние влаги сказывается на интенсивности молекулярных сил сцепления. На рис. 2.11 для углей марки Б1 крупностью 0—6 мм при зольности 20—22% и температуре сухого угля 55—60° С показана зависимость прочности брикетов от содержания влаги в брикетируемом материале. Оптимальное содержание влаги для данного типа угля определяется взаимным влиянием крупности и температуры сухого угля. При

Рис. 2.11. Зависимость прочности брикетов $\sigma_{сж}$ от влажности W бурого угля



этой влаге максимально проявляются молекулярные силы сцепления и достигается высокая прочность брикетов. Повышение содержания влаги отрицательно влияет на прочность брикетов, особенно, если она достигает 20% и более. При утолщении водных пленок сцепления между зернами не достигается из-за вынужденного снижения давления прессования. Если содержание влаги ниже 8—10%, то поверхность частиц недостаточно покрывается водными пленками. Молекулярные силы сцепления слабые. Для брикетирования такого угля необходимо увеличивать давление прессования, что приводит к интенсивному выжиму влаги из капилляров и нежелательной «перепрессовке» угля. Брикеты получаются непрочными, легко разрушаются.

На качество брикетов существенно влияет распределение влаги в отдельных классах. Мелкие частицы угля быстрее и легче отдают свою влагу при сушке, чем более крупные зерна. Поэтому для достижения высокой прочности брикетов необходимо обеспечить минимальную влагоразность между мелкими и крупными зернами. На влагоразность влияют скорость и способ сушки угля, разница в размерах наибольших и наименьших частиц материала, природа угля. Важно учитывать неравномерность распределения влаги в крупных зернах. В них после сушки влага испаряется только с поверхности, задерживаясь в глубинных участках. Со временем она перемещается к периферии, создавая в брикетах многочисленные трещины. Прочность и водоустойчивость брикетов снижаются.

Оптимальная влажность сухого угля, соответствующая наибольшей прочности брикетов, не является величиной постоянной. Она зависит от давления прессования и крупности сухого угля, а также природы и окисленности угля.

У окисленных углей влагоразность крупных и мелких зерен незначительна. В них самопроизвольно накапливается гумусовая и снижается битумная составляющие. Ухудшается молекулярное взаимодействие между элементами структуры брикетов. Прочность и водоустойчивость брикетов снижаются. Влажность угля влияет на хрупкие, упругие и пластические деформации брикетов и их длительность.

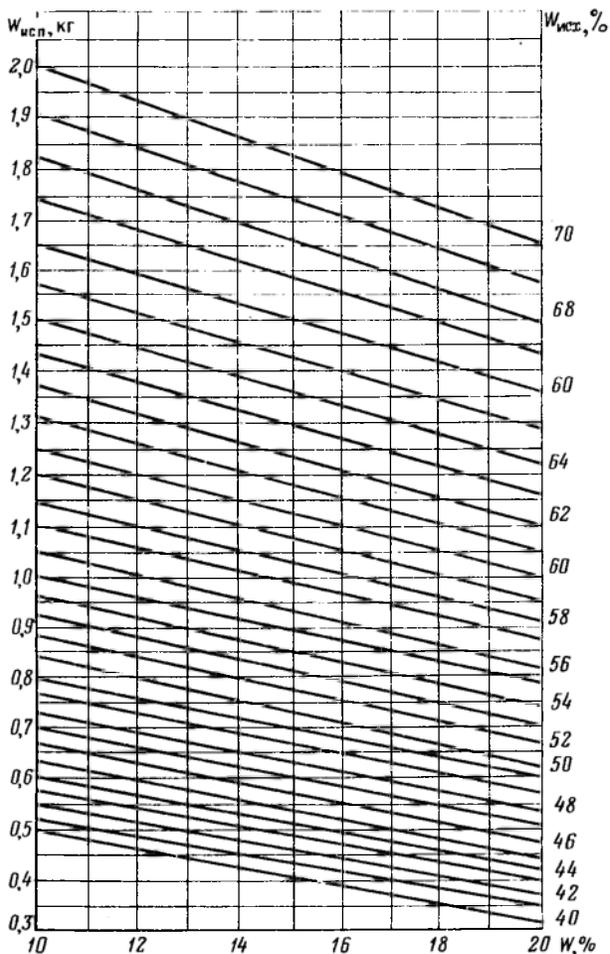


Рис. 2.12. Номограмма для определения количества испаренной влаги при брикетировании бурого угля:
 $W_{исп}$ — масса испаряемой влаги для производства 1 кг брикетов; $W_{исх}$ — содержание влаги в исходном угле, %; W — содержание влаги в брикете, %

По начальной влаге бурого угля определяют его общую массу для переработки в брикеты. Зная расход угля, остаточную влагу после сушки, можно по номограмме (рис. 2.12) рассчитать массу сырого угля, идущего на брикетирование. Для этого на оси абсцисс откладываем начальную влажность брикетов (например, 14%). Далее находим точку пересечения ее ординаты с наклонной прямой, отвечающей начальной влаге угля (с правой стороны, например, 56%). Через точку пересечения проводим

горизонтальную прямую до пересечения с левой осью ординат. По последней определяем искомую массу испаренной влаги (0,96 кг) для получения 1 кг брикетов. Следовательно, для производства 1 кг брикетов требуется исходного угля 1,96 кг. Установлено, что для производства технологического пара на сушку необходимо 25% угля от расхода его на изготовление брикетов. Тогда общая потребность в рядовом буром угле для получения 1 кг готовой продукции составит 2,45 кг.

Крупность угля определяет суммарную поверхность частиц брикетируемой массы. Чем более развита эта поверхность, тем больше число контактов частиц внутри брикетов и интенсивней действие молекулярных сил сцепления. Увеличение суммарной поверхности зерен может быть достигнуто дроблением. В брикетах из мелкого угля меньше внутренних дефектов, выше плотность упаковки, лучше пластичность брикетируемой массы. Отсюда более равномерное распределение давления по всему объему брикетов. Оптимальная крупность, обеспечивающая достаточно высокую прочность брикетов, находится в пределах 0—2 мм (рис. 2.13). Более мелкий уголь брикетировать сложнее, так как требуется специальная подготовка для достижения оптимальной влаги и температуры сухого угля.

Суммарную поверхность (см^2) дробленых зерен в одном брикете можно рассчитать следующим образом:

$$S_{\text{об}} = Sa, \quad (2.9)$$

где S — поверхность частиц, полученных от дробления одного зерна, см^2 ; a — число зерен в брикете;

$$S = \pi D^2/d,$$

где D — средний размер зерна до дробления, см; d — средний размер зерна после дробления, см;

$$a = 6M/(\pi D^3\gamma),$$

где M — масса брикета, г; γ — объемная масса брикета, $\text{г}/\text{см}^3$.

Подставив соответствующие значения S и a в формулу (2.9), получим

$$S_{\text{об}} = 6M/(d\gamma).$$

Важное значение имеет равномерное распределение элементарных классов крупности в брикетной шихте. Оно достигается выбором технологической схемы классификации угля и соответствующим аппаратурным 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%.

Гранулометрический состав тесно связан с процессом прессования. Снижение крупности способствует более плотной укладке частиц. Уменьшаются время и расход энергии, затрачиваемой на хрупкие и упругие деформации материала. Расход энергии и время на полезные пластические деформации увеличиваются.

Повышение содержания крупных зерен в угле увеличивает число и размер пустот в брикете. В этом случае часть энергии прессования вынужденно расходуется на разрушение крупных зерен. Пластические деформации уменьшаются и прочность брикетов снижается.

Минимальные усилия при формировании брикета затрачиваются, когда расположение крупных и мелких зерен не вызывает их измельчения. В такой структуре все промежутки заполнены мелочью. Если при одинаковом расположении угольных зерен уменьшается их размер, то неизбежно возрастают число и поверхность контакта. Отсюда при постоянном общем давлении уменьшается удельное давление на частицу. Возрастают совокупность поверхностей сцепления и плотность брикета.

Крупность угля определяется целевым назначением брикетов. Для брикетов, 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 водоустойчивы. Выбор верхнего предела крупности зерен обусловлен также экономическими факторами.

Давление и температура прессования. Фактор прессования является важнейшим для получения прочных брикетов. При прессовании под действием механического давления происходит всестороннее обжатие бурого угля с образованием кускового продукта — брикета. Брикетируемый материал (сухой уголь) можно рассматривать как трехфазную систему: твердое, жидкое и газ. Газообразная фаза — это воздух в порах угля и промежутках между отдельными зернами. Основная масса воздуха в процессе прессования легко удаляется. Лишь небольшое количество его остается в спрессованном угле, ослабляя структуру брикета. Поэтому в процессе прессования необходимо максимальное удаление воздуха через соответствующие зазоры прессующих аппаратов.

Основное влияние на характер окускования оказывают структурно-реологические и физико-химические свойства твердой фазы, а также содержание воды.

До приложения давления частицы угля контактируют друг с другом по отдельным точкам. С приложением давления точечные

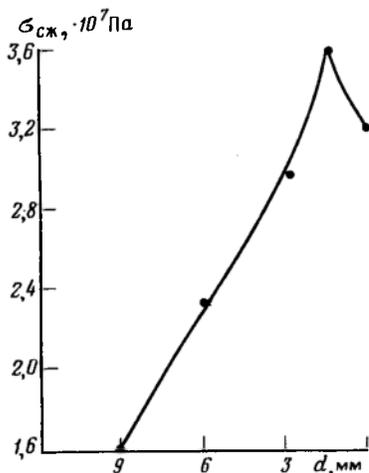


Рис. 2.13. Зависимость прочности брикетов $\sigma_{сж}$ от крупности зерен d бурого угля

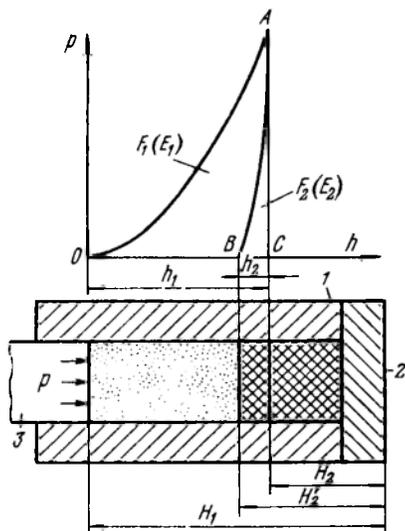


Рис. 2.14. Диаграмма прессования бурого угля в штемпельном прессе

контакты переходят в слабые поверхностные, при максимальном усилии прессования — в прочные связи молекулярных сил сцепления. С усилением давления происходит последовательное вовлечение в зону контактирования всей массы брикетируемого угля. Формирование структуры брикетов сопровождается деформацией угля в канале пресса и после выхода из него брикетов. Деформация первого периода необратимая или остаточная, второго — обратимая или упругая.

Необратимая деформация вызвана действием хрупких и пластических деформаций. Хрупкие деформации приводят к разрушению зерен при высоких давлениях прессования. Они связаны с раздавливанием крупных частиц и укладкой их в брикетном каркасе. Пластические деформации вызывают структурные изменения формы и объема зерен при их уплотнении. Они не нарушают сплошность структуры зерна. Хрупкие деформации приводят к образованию первоначальной структуры брикетов. Окончательное ее формирование достигается в результате действия пластических деформаций в конце прессования и упругих деформаций после снятия давления.

Упругие деформации связаны с преодолением сил физического и химического взаимодействия молекулярного сцепления зерен в брикете. Наиболее благоприятно действие упругих деформаций, когда они переходят в пластические, упрочая брикет.

Упругое последствие у выходящего из пресса брикета — следствие накапливаемой потенциальной энергии прессования.

В этот момент система деформированных угольных частиц (брикет) стремится занять равновесное состояние. Для него характерно уменьшение свободной потенциальной энергии до минимальных значений. Следовательно, действие хрупких и пластических деформаций в условиях постоянно растущего давления прессования вызывают уплотнение и упрочение брикета. Упругие деформации вызывают ослабление структуры брикетов.

Диаграмма процесса прессования угля в матрице 1 с неподвижным упором 2 и штемпелем 3 приведена на рис. 2.14. На оси ординат — отложено давление прессования p , на оси абсцисс — ход штемпеля h . С приложением давления сыпучая масса угля уплотняется. Высота засыпки падает с первоначальной H_1 до конечной H_2 , характеризуясь кривой OA и абсциссой h_1 . Штемпель, достигнув положения H_2 (максимальное давление прессования), начинает движение в обратную сторону. Этому моменту соответствует противодействие спрессованного материала, описываемое кривой AB . Происходит расширение брикета на величину от H_2 до H'_2 , что соответствует значению h_2 на абсциссе диаграммы. Величина h_2 характеризует упругость брикета.

Отношение H_1 к H_2 называется *коэффициентом уплотнения*:

$$k_1 = H_1/H_2 \text{ или } \gamma_2/\gamma_1,$$

где γ_1 — насыпная масса угля, кг/м^3 ; γ_2 — объемная масса брикета под максимальным давлением, кг/м^3 .

Отношение H'_2 к H_2 называется *коэффициентом упругого расширения*:

$$k_2 = H'_2/H_2 \text{ или } \gamma_2/\gamma'_2,$$

где γ'_2 — объемная масса брикета после снятия давления, кг/м^3 .

По диаграмме (см. рис. 2.14) можно оценить брикетируемость материала для любого заданного давления прессования. Энергия прессования расходуется на преодоление сопротивления трения между частицами угля при уплотнении, трения угля о стенки матрицы, упругих и остаточных деформаций. Отсюда основными параметрами прессования являются уплотнение h_1 ; коэффициенты уплотнения и упругого расширения k_1 и k_2 ; расход поглощенной при прессовании и отданной при упругом расширении энергии E_1 и E_2 (Па). Прессование выявляет пластические и упругие свойства исходного угля, т. е. характеризует способность его к брикетированию.

Математически прессуемость бурого угля можно выразить *показателем пластичности*:

$$k = E_1/E_2.$$

Используя показатель k , советский ученый И. Д. Ремесни-

ков, разработал классификацию бурых углей по пластическим и упругим свойствам.

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. 2.15). 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 пластичных 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

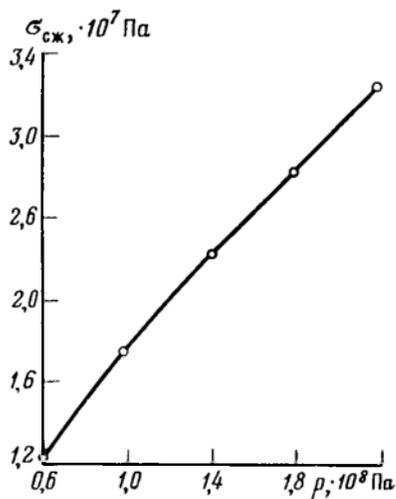


Рис. 2.15. Зависимость прочности $\sigma_{сж}$ бурогольных брикетов от давления прессования p

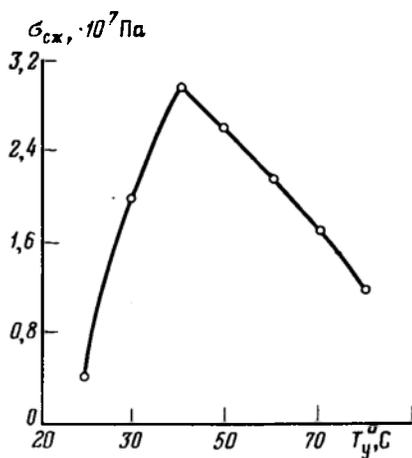


Рис. 2.16. Зависимость прочности брикетов $\sigma_{сж}$ от температуры угля T_{γ} при влажности 16—18% и крупности 0—6 мм

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 прессформ. Снижаются прочность брикетов и производительность прессов.

Оптимальное время прессования определяется экспериментально и рассчитывается по следующей формуле:

$$t = 60(L - l) / (H_2 n),$$

где L — рабочая длина матрического канала, см; l — глубина захода штемпеля в матричный канал, см; H_2 — толщина брикета согласно рис. 2.14, см; n — число ходов штемпеля.

Характер снятия давления и выталкивания брикета из пресса определяют интенсивность действия упругих деформаций. Наиболее целесообразно равномерно снимать давление при выталкивании брикетов. Это ослабляет вредное влияние расширяющих усилий на структурный каркас, особенно, если он малого объема.

Развитие давления прессования зависит от температуры сухого угля. Увеличение нагрева угля способствует росту пластических деформаций, уменьшению трения между частицами и снижению упругих деформаций. 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. 2.16). 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.

При прессовании угля в матрице пресса возникает трение между ее стенками и брикетируемым материалом. Оно приводит к падению и неравномерному распределению давления по высоте. Для устранения этого явления необходимо использовать матрицы круглого сечения с минимальным трением брикета

о боковую поверхность. На однородность структуры брикетов положительно влияет двухстороннее обжатие.

Сушка и охлаждение угля. Сушка угля обеспечивает удаление влаги и нагрев. Удаление влаги начинается с поверхности угля. Чем ближе к центру зерна, тем содержание влаги выше, особенно в крупных зернах. Удаление влаги из более крупных капилляров углей идет быстрее, чем из узких. Объясняется это более высоким давлением водяного пара. Испарение влаги из узких (мелких) капилляров происходит при более низкой относительной влажности, тесно связанной с точкой гигроскопичности.

Точкой гигроскопичности служит влага угля в состоянии равновесного испарения между капиллярной влагой и давлением пара в атмосфере. Точка гигроскопичности достигается через определенный промежуток времени, когда устанавливается указанное равновесие. Оно может быть сокращено повышением температуры сушильного агента. При низкой температуре и высокой относительной влажности наружного воздуха равновесие достигается очень медленно. Точка гигроскопичности устанавливается сравнительно быстро при тонкослойной сушке бурого угля.

Качество брикетов зависит от характера усадки и распада угольных зерен в процессе сушки. Распад высушенных зерен из-за их усадки после сушки без приложения механических усилий незначителен.

Температура сушильного агента (чаще всего насыщенности пара) определяет скорость сушки. Существует предел роста температуры, который связан с возможным самовозгоранием пересушенного и сильно нагретого угля. При высоких температурах происходит чрезмерное обезвоживание мелких классов, затрудняющее брикетирование угля. Устранить этот недостаток можно фракционированием материала и раздельной сушкой каждого класса до оптимальной влажности.

Нагретый сухой уголь отправлять непосредственно на пресование не рекомендуется. Уголь после сушки интенсивно отдает влагу. Выделяющиеся водяные пары ухудшают процесс брикетирования за счет образования влаги конденсации. Поэтому перед прессованием сухой уголь охлаждают. Лучше охлаждать только крупные зерна — основной источник влаги вторичных капилляров. Мелкие зерна охлаждать не следует. Они могут потерять пластичность.

2.3.3. Механизм структурообразования торфяных брикетов

Для объяснения механизма брикетирования торфа как высоковлажного материала пригодны известные гипотезы образования буроугольных брикетов. В тоже время исследования сил взаимодействия торфяных частиц показали специфичность их

контактов. Советский ученый В. М. Наумович развивает новую концепцию процесса структурообразования торфяных брикетов.

Сущность явлений прилипания торфяных частиц обусловлена молекулярным механизмом действия, который проявляется в виде молекулярного притяжения и действия электростатических сил. Молекулярным силам отдается предпочтение, так как они действуют между молекулами и отдельными атомами. Аналогичные силы возникают между отдельными частицами брикуетируемого материала. При этом существенное значение имеют молекулярные контакты между твердой поверхностью торфа и водой, а также между водными пленками.

Силы молекулярного притяжения определяются действием ориентационного, индукционного и дисперсионного эффектов. Ориентационный эффект активно проявляется в воде. Энергия притяжения в этом случае связана со взаимной ориентацией диполей. В отдельных случаях взаимодействуют диполи одной молекулы с индивидуальным диполем другой молекулы. Когда же молекулы не обнаруживают дипольных моментов, их взаимодействие осуществляется за счет дисперсных сил.

Согласно термодинамической теории, важным является определение удельной силы прилипания на единицу площади прессования. Последняя определяется умножением числа частиц в единице площади n на силу прилипания между двумя частицами N_0 :

$$N = N_0 n = \pi r f(0) n, \quad (2.10)$$

где r -- радиус шарообразной частицы; $f(0)$ -- удельная работа слипшихся частиц;

$$f(0) = \sigma_{12} - \sigma_{13} - \sigma_{23},$$

где σ_{12} -- свободная энергия поверхности раздела двух твердых тел; σ_{13} -- свободная энергия поверхности раздела первого твердого тела и фазы, отделяющей его от второго тела; σ_{23} -- аналогична σ_{13} , но для второго твердого тела.

Уравнение (2.10) справедливо для абсолютно твердых тел. Торф отличается повышенной пластичностью. Поэтому с приложением давления прессования площадь контакта между его частицами неизбежно возрастет и сила прилипания увеличится.

Особое значение для выделения природы молекулярного прилипания в процессе брикетирования имеют размер частиц торфа и влияние капиллярной конденсации. Чем тоньше измельчен материал, тем выше силы сцепления. Влияние капиллярной конденсации следует оценивать, исходя из основных положений термодинамической теории прилипания, согласно которой, присутствие капиллярной влаги в точках контакта частиц не увеличивает силы молекулярного притяжения, а в отдельных случаях даже снижает ее. Экспериментально это положение подтверждено методом скрещенных нитей. Доказано, что длитель-

ность контакта и давление в присутствии капиллярной влаги не способствует росту общей энергии прилипания торфяных слоев. Следовательно, в брикетируемом торфе капиллярная влага должна отсутствовать.

Наличие адсорбционной влаги не снижает прочности брикетов. Эта влага образует на поверхности торфа ориентированный тонкий слой. Плотная упаковка молекул в таком слое не сказывается на действии сил молекулярного прилипания. Отсюда в брикетируемом торфе оптимальная влажность соответствует содержанию адсорбционной влаги. Отсутствие адсорбционной влаги может отрицательно повлиять на уплотнение брикета.

Специфика брикетирования торфа обуславливается рядом параметров, среди которых один из важнейших — давление прессования. Работа прессования расходуется на уплотнение частиц торфа, их деформацию, разрушение и создание контактирующих поверхностей. Давление, развиваемое в прессе, также направлено на преодоление сил трения брикета о стенки пресс-формы и полное удаление из брикета газовой фазы.

Давление прессования в основном зависит от влажности торфа. Чем выше содержание влаги, тем ниже требуемое давление. При влажности торфа 18% давление прессования составляет 100 МПа, при 9% — 150 МПа. Оптимальное давление прессования определяется экспериментально в зависимости от влажности торфа и его технологических свойств.

Крупность торфа находится в обратной зависимости от прочности брикета. Тонкий материал всегда благоприятствует росту прочности брикетов, так как в этом случае увеличиваются площади контактов, возрастают доля пластических деформаций и силы молекулярного сцепления. Установлено, что тонкое измельчение необходимо лишь для торфов высоких стадий разложения. Торфы низкой и средней стадий разложения отличаются повышенной пластичностью и менее упруги. Это обстоятельство позволяет использовать для брикетирования более крупный материал. Упрощается технология подготовки торфа по крупности.

Молекулярная теория брикетирования дает возможность оценить влияние на механизм образования брикетов температурных режимов. Доказано, что температура сухого материала не влияет на прочность торфяных брикетов. Это связано с тем, что молекулярные силы притяжения действуют на очень малых расстояниях. Обычно межконтактные промежутки намного меньше, чем основные длины волн, фигурирующие в спектре поглощения частиц торфа. Температурные воздействия на брикетирование торфа проявляются через нагрев матриц. Рост температуры от 20 до 100°С способствует упрочению брикетов вдвое. При этом одновременно снижается в 1,5—2 раза расход энергии

на прессование в результате уменьшения коэффициента трения торфа о стенки матрицы. Возрастает КПД прессования.

Как было показано выше, время контакта не влияет на силы молекулярного прилипания частиц. Отсюда следует, что скорость обжарки частиц не сказывается на прочности брикетов. Однако повышенные скорости прессования не позволяют в достаточной мере отвести воздух из пресс-форм. Воздух запрессовывается в брикет, связи между отдельными частицами снижаются и брикет, выходя из пресса, легко разрушается. Иногда по этой причине вообще не происходит брикетирования.

Молекулярная теория — один из наиболее плодотворных подходов к оценке механизма структурообразования торфяных брикетов. Она дает возможность с современными научными позиций обосновать влияние основных технологических факторов на процесс брикетирования торфа.

2.3.4. Механизм структурообразования рудных брикетов без связующих

Брикетирование руд без связующих веществ возможно лишь при высоких давлениях. Для таких руд характерно наличие компонентов, обладающих связующей способностью (например, глины). Сюда же можно отнести способы брикетирования руд с последующим обжигом сырых брикетов и термобрикетирование.

В общем случае брикетирование руд без связующих можно оценивать с позиции термодинамической, электрической и диффузионной теории адгезии. В первом случае адгезия между твердыми частицами обусловлена действием поверхностных сил. Молекулярные взаимодействия характеризуются совместным влиянием ориентационных λ_o , индукционных λ_n и дисперсионных λ_d сил. Однако эффект протяжения частиц очень мало зависит от действия ориентационных и индукционных сил. Их энергией можно пренебречь. Тогда энергия адгезионного взаимодействия между молекулами двух контактирующих твердых тел может быть определена как

$$E_{ад}^м = -\lambda_d/H^6,$$

где H — расстояние между взаимодействующими молекулами двух твердых тел.

В целом λ_o , λ_n , λ_d характеризуют значение константы молекулярного взаимодействия конденсированных тел A . Отсюда адгезия двух шаровидных тел

$$E_{ад}^м = -Ar/(12H);$$

шаровидного и плоского тела

$$E_{ад}^м = -Ar/(6H);$$

двух тел с плоскими поверхностями

$$E_{ад}^м = -A/(12\pi H^2).$$

Молекулярные взаимодействия не являются единственной причиной адгезии рудных частиц. Важную роль играют электрические силы. При взаимодействии частиц на границе раздела возникает контактная разность потенциалов φ_k , обуславливающая адгезию

$$E_{ад}^{эл} = \varphi_k = 4\pi\sigma_s h,$$

где σ_s — плотность зарядов двойного электрического слоя; h — расстояние между контактирующими телами.

Величина φ_k всегда благоприятствует общей адгезии.

В зазоре между контактирующими телами имеются тончайшие прослойки воды или происходит конденсация ее паров. Образовавшийся мениск, с одной стороны, стягивает частицы силами поверхностного натяжения σ , с другой, — благодаря своей вогнутости, уменьшает давление жидкости.

Адгезия взаимодействующих тел за счет капиллярного эффекта для шарообразных тел

$$E_{ад}^k = 2\pi\sigma r \cos \theta_{каж};$$

для шара и плоскости

$$E_{ад}^k = 4\pi\sigma r \cos \theta_{каж};$$

для двух плоскостей

$$E_{ад}^k = 8\pi\sigma r \cos \theta_{каж},$$

где $\theta_{каж}$ — кажущийся краевой угол смачивания, учитывающий шероховатость поверхности. Его определяют по коэффициенту шероховатости α и истинному краевому углу смачивания θ :

$$\cos \theta_{каж} = \alpha \cos \theta.$$

Повышенная влажность частиц неизбежно приводит к появлению на границе раздела расклинивающего давления пленки воды. Адгезия за счет капиллярного эффекта уменьшается. Если водная пленка достигает больших размеров, расклинивающее давление резко возрастает. Капиллярный эффект падает до нуля. Снижается общая адгезия. В целом $E_{ад}^k$ зависит от размеров частиц, поверхностного натяжения жидкости и способности контактирующих частиц ею смачиваться.

При контактировании частиц, обладающих магнитными свойствами, на общую адгезию системы влияет напряженность магнитного поля. Таким образом, общая энергия адгезии контактирующих частиц при брикетировании руд без связующих равна сумме энергий адгезии молекулярных контактов, действия электрических и капиллярных сил, а также магнитного поля:

$$E_{ад}^{общ} = E_{ад}^m + E_{ад}^{эл} + E_{ад}^k + E_{ад}^{маг}.$$

Приведенные теоретические данные позволяют сделать некоторые обобщения. Брикетирование руд без связующих характеризуется взаимодействием соприкасающихся частиц в воздуш-

ной среде через тончайшие прослойки воды. Обычно высота слоя воды между контактирующими зернами не превышает высоты мениска, образовавшегося при смачивании руды водой. Поэтому адгезия в брикетной смеси обусловлена не только действием дисперсионных связей, но и капиллярными силами.

Адгезия во многом зависит от физико-химических свойств контактирующих зерен, их шероховатости, твердости и давления прессования. В такой системе молекулы одной частицы индуцируют у молекул другой частицы периодические диполи. Индукционный диполь притягивается к исходному диполю. Энергия притяжения между двумя частицами может рассматриваться как сумма энергий притяжения между соответствующими парами молекул, входящих в данные частицы. Одновременно при взаимодействии твердых частиц имеет место контактная деформация, которая способствует росту площади контакта и повышает адгезию.

Контактная деформация вызывает упругие отталкивающие силы. Поэтому общая адгезия системы может быть рассчитана как сумма молекулярных сил контакта за вычетом сил отталкивания. Отсюда следует, что чем выше шероховатость, тем больше площадь контакта. Чем тверже руда, тем ниже деформирующая способность. Чем выше давление прессования при прочих равных условиях, тем выше площадь контакта. Следовательно, при высоких давлениях прессования шероховатый материал способен к интенсивному контакту. Для него характерно значительное превышение молекулярных сил взаимодействия над силами отталкивания. Адгезия такого комплекса всегда высока. Однако чрезмерно высокие давления в подобных системах могут создавать большие упругие силы отталкивания, нейтрализующие действия сил молекулярного взаимодействия.

Наличие влаги, которая зачастую вводится при брикетировании, может несколько изменить общую энергию адгезии. Установлено, что максимальная адгезия достигается между веществами одинаковой полярности, минимальная адгезия — между разнополярными. Следовательно, если полярность руды близка к полярности воды, то последняя способствует адгезии и наоборот. Водная пленка благоприятствует подвижности частиц друг относительно друга при наложении давления прессования, увеличивается площадь контакта, возрастает адгезия. Однако, если водная пленка толстая и превышает высоту мениска между частицами, адгезия частиц начинает приближаться к когезии этой пленки. В результате прочность брикета очень низкая или, что чаще, брикет вообще не образуется.

Образование рудных брикетов без связующих зависит от ряда факторов.

Содержание влаги в сырье. Отсутствие связующего требует определенного увлажнения руды. Влага, как было показано

выше, благоприятствует росту капиллярной компоненты энергии адгезии до определенного предела. Выше его активно начинают проявляться отрицательные действия расклинивающего давления водной пленки и адгезия падает.

Добавка воды способствует лучшей уплотняемости частиц, снижает трение между ними и повышает силы межмолекулярного взаимодействия. Влагу следует рассматривать как связующую прослойку. Расход вводимой влаги определяется специфическими особенностями и гранулометрическим составом брикетируемых руд.

Для железных, железо-никелевых руд крупностью 0—5 мм оптимальная влажность составляет 20%. Однако в зависимости от сопутствующих пород руды можно брикетировать при влажности 10—25%. Медные пылевидные концентраты, доломитовую руду брикетируют при увлажнении до 3—10%.

Крупность руды. Прочность брикета зависит от площади контакта частиц. Она прямо пропорциональна силам молекулярного и электрического взаимодействия. Чем мельче материал, тем больше площадь контактов. При этом следует также учитывать шероховатость и форму частиц. Последняя оценивается коэффициентом сферичности. Он устанавливается по изменению скорости осаждения частиц данной формы в неподвижной среде по сравнению с шарообразными. Для брикетируемых рудных материалов коэффициент сферичности составляет 0,7—0,9.

Важное значение имеет размер частиц. Максимальная крупность руды не должна превышать 10 мм. Наличие крупных зерен при малом содержании средних и мелких может отрицательно сказаться на прочности брикетов. Благоприятствует брикетированию крупнозернистых шихт равномерное смачивание водой мелких частиц. Для брикетирования мелкозернистой руды требуются более высокие давления прессования и повышенное увлажнение. Оптимальной крупностью считается класс 0—3 мм.

Давление прессования. Брикетирование руд без связующих требует более высоких давлений, чем со связующими. Повышенные давления необходимы для создания максимального молекулярного контакта между зернами внутри брикета. В зависимости от влажности и крупности шихты давление прессования может развиваться от 40 до 100—120 МПа. Более высокие давления разрушают зерна и способствуют появлению безводных поверхностей. Падает доля пластических деформаций, брикет разрушается сразу по выходу из пресса. Химический состав руды почти не влияет на давление прессования.

Глава 3 ТЕХНОЛОГИЯ БРИКЕТИРОВАНИЯ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Брикетная фабрика — это современный высокомеханизированный промышленный комплекс, включающий в себя технологические звенья по приему, дроблению, классификации, сушке и дозировке полезных ископаемых и связующих веществ; смешению и прессованию брикетируемых материалов; охлаждению, погрузке и складированию готовых брикетов.

3.1. ТЕХНОЛОГИЯ БРИКЕТИРОВАНИЯ КАМЕННЫХ УГЛЕЙ И АНТРАЦИТОВ

Организация технологии брикетирования каменных углей и антрацитов зависит от требований потребителей к брикетам. 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 — 34 000—35 000 кДж/кг. Зольность брикетов устанавливается в зависимости от качества поступающего сырья и условий их переработки.

Наиболее целесообразно для брикетирования использовать обогащенную угольную мелочь и антрацитовый штыб. *Технологическая оценка сырья производится по брикетирующей способности. Она определяется по минимальному расходу связующего, необходимого для получения механически прочных брикетов.*

3.1.1. Подготовка углей

В подготовительном комплексе выполняется операция по шихтовке углей разных марок и шахтогрупп. Цель ее — усреднение углей и повышение термической устойчивости брикетов (если связующее обладает низкой спекаемостью).

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. Кроме того, такие частицы под воздействием высоких давлений прессования подвержены сравнительно легкому растрескиванию с образованием поверхностей, непокрытых 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.

Подготовка угля по крупности в случае общего обогатительно-брикетного комплекса включается в технологию обогащения. Схема цепи аппаратов узла подготовки угля по крупности на одной из действующих брикетных фабрик приведена на рис. 3.1. Уголь поступает на фабрику в железнодорожных вагонах и разгружается в приемные бункера 1. Оттуда питателями 2 и ленточными конвейерами 3, 4 и 5 транспортируется в дозирочные бункера 6 силосного типа. С помощью вибрационных питателей 7 осуществляется дозировка угольной смеси на ленточный конвейер 8. Далее уголь направляется на резонансные грохоты 10. Надрешетный продукт грохотов дробится в молотковой дробилке 9. Подрешетный и дробленый продукты совместно ленточными конвейерами 11 и 12 передаются в аккумулирующие бункера сушильного отделения.

Производительность (т/ч) дробильно-сортировочного отделения (ДСО) по переработке исходного угля рассчитывается по формуле

$$Q_{\text{дсо}}^* = Q_{\text{бр}} + Q_{\text{суш}} + Q_{\text{кот}}, \quad (3.1)$$

где $Q_{\text{бр}}$ — расход угля для получения $Q_{\text{бф}}$ брикетов, т/ч; $Q_{\text{суш}}$ — расход угля на сушку, т/ч; $Q_{\text{кот}}$ — расход угля в котельной, т/ч; $Q_{\text{бф}}$ — производительность фабрики по готовым брикетам, т/ч;

$$Q_{\text{бр}} = (1 + 0,01V_{\text{бр}}) (100 - W'_{\text{бр}}) Q_{\text{бф}} (100 - W'_{\text{см}}), \quad (3.2)$$

где $W'_{\text{см}}$, $W'_{\text{бр}}$ — влажность соответственно исходного угля и брикета, %; $V_{\text{бр}}$ — потери угля при брикетировании, равные примерно 3% (брикетная крошка 2%, пыль и шлам 1%);

$$Q_{\text{суш}} = (Q_{\text{бр}} - 1,01V_{\text{бр}}Q_{\text{бф}})i(Q'_i\eta), \quad (3.3)$$

где i — удельный расход тепла на испарение влаги, равный 3,6—3,8 МДж/кг; Q'_i — низшая теплота сгорания рабочего топлива, МДж/кг; η — коэффициент полезного действия топки, равный 0,9—0,95%.

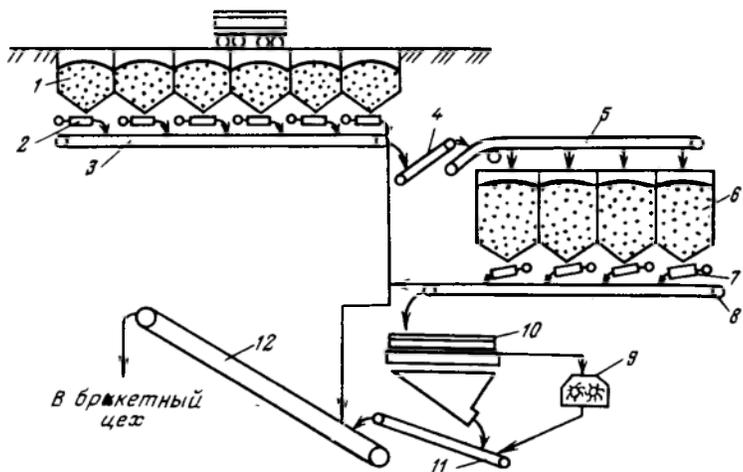


Рис. 3.1. Схема цепи аппаратов дробильно-сортировочного отделения

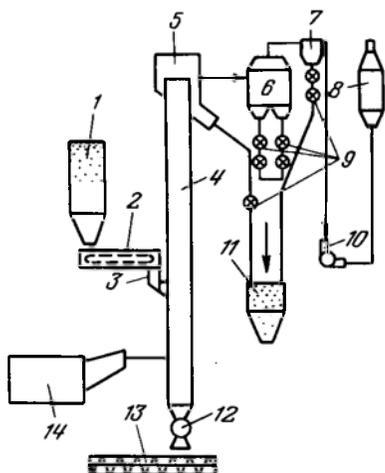


Рис. 3.2. Схема цепи аппаратов трубы-сушилки

Общая производительность (т/ч) ДСО с учетом неравномерности производительности и потребностей фабричной котельной

$$Q_{\text{ДСО}}^{\text{общ}} = 1,25 \div 1,30 Q_{\text{ДСО}}^{\text{т}} \quad (3.4)$$

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—80° С. 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, исключаящая присутствие в угле избыточных зерен.

Схема цепи аппаратов трубы-сушилки показана на рис. 3.2. Сырой уголь из бункера 1 питателем 2 и забрасывателем 3 загружается в трубу-сушилку 4. Дымовые газы подаются в сушилку из топки 14. Уголь, загруженный в трубу-сушилку, увлекается дымовыми газами. После сушки он поступает в проходной сепаратор 5 для отделения крупных зерен угля. Тонкие пылевидные частицы вместе с дымовыми газами направляются в батарейные пылеуловители.

В процессе сушки уголь нагревается до 60—80° С, а содержание влаги в нем снижается до 1—1,5%. Для доведения влаги сухого угля до нормируемых значений в проходной сепаратор подается острый пар. Он конденсируется на тонких фракциях угля, способствуя их осаждению. Увлажнение паром протекает без снижения температуры сушимого угля.

Основная часть тонких фракций угля улавливается в пылеуловителе 6, а остатки — в батарейных циклонах 7. На последней стадии пылеулавливания (за дымососом 10) установлены мокрые пылеуловители 8. Сухой уголь из проходного сепаратора, пылеуловителей и батарейных циклонов по трубам со шлюзовыми затворами 9 направляется в термоизолированный бункер 11. «Провал» трубы-сушилки шлюзовым питателем 12 и винтовым конвейером 13 возвращается в бункер сырого угля.

В некоторых схемах перед проходным сепаратором устанавливается классификационная камера. В ней улавливаются избыточные по крупности зерна и направляются на дробление. Дробленный уголь смешивается с продуктом разгрузки сепараторов.

На старых брикетных фабриках эксплуатируются барабанные газовые сушилки с противоточной подачей сушильного агента.

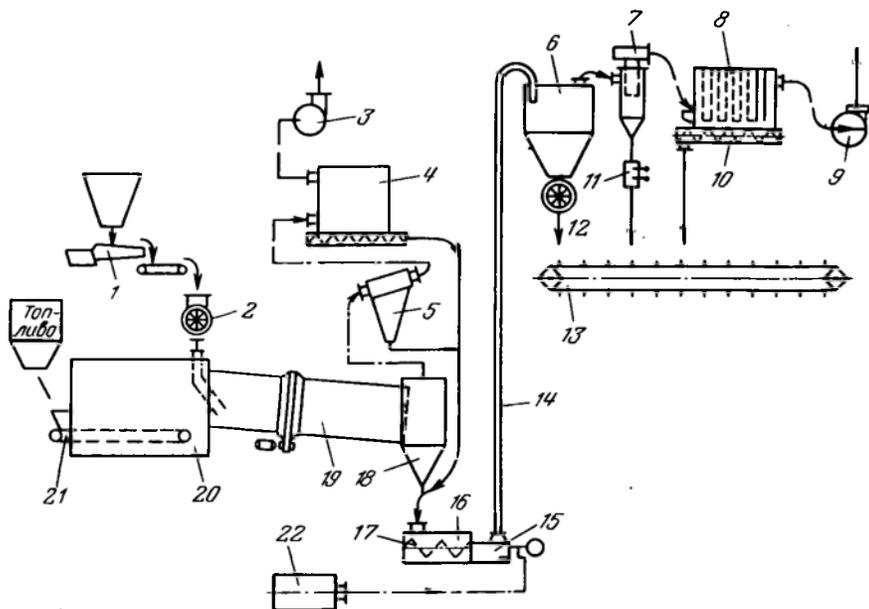


Рис. 3.3. Схема цепи аппаратов барабанной сушилки

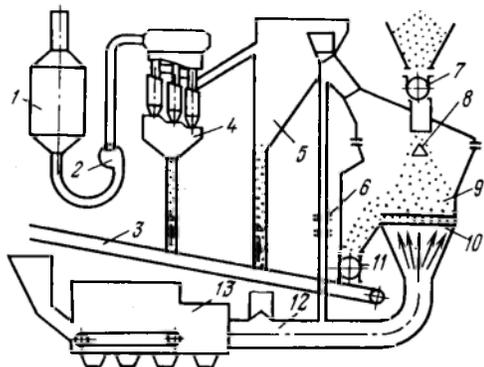


Рис. 3.4. Схема цепи аппаратов сушилки в «кипящем слое»

В большинстве случаев эти сушилки прошли модернизацию: увеличена частота вращения барабана, установлены внутри барабана насадки-рыхлители различной конфигурации, смонтированы винтовые лопасти для улучшения загрузки сырым углем, увеличено число ступеней пылеулавливания и газоочистки, выполнено устройство для пневмотранспорта сухого угля на смешение со связующим.

Схема цепи аппаратов модернизированной барабанной сушилки приведена на рис. 3.3. Топочные газы из топки 21 через

смесительную камеру 20 направляются в сушильный барабан 19. В смесительную камеру подается холодный воздух для регулирования температуры топочных газов в пределах 700—800° С. Сырой уголь вибрационным питателем-дозатором 1 через шлюзовый затвор 2 поступает для сушки в барабан 19. Основная масса угля удаляется из барабана через разгрузочную камеру 18. Пылевая фракция проходит последовательно батарейный циклон 5 и рукавный фильтр тонкой очистки 4. После улавливания она смешивается с основной массой сухого угля. Очищенные дымовые газы удаляются в атмосферу через дымосос 3. Сухой уголь поступает в приемную камеру эрлифта 16, откуда шнеком 17 перемещается в смесительную камеру 15. Последняя оборудована аэроднищем с микропористой перегородкой, к которой подводится сжатый воздух от воздухоудувки 22.

Аэрированный сухой уголь по пневмотрубопроводу 14 поступает в бункер 6, где оседает до 97% угля. Остальная часть — пылевой продукт улавливается в циклоне 7 и рукавном фильтре 8. Очищенный воздух через дымосос 9 направляется в атмосферу. Выгрузка осевших продуктов из аппаратов 6, 7 и 8 осуществляется соответственно через шлюзовый затвор 12, пластинчатые мигалки 11 и винтовой разгрузатель 10. Сухой уголь конвейером 13 подается на смешение со связующим.

Работа сушильной установки автоматизирована. В тракте пневмотранспорта поддерживается температура угля около 70—80° С. Иногда вместо эрлифтной установки транспортирование сухого угля осуществляется герметически термоизолированными скребковыми конвейерами или транспортным элеватором.

В последнее время для вязких и комковатых влагоемких углей начали применять сушку в установке «кипящего слоя», основными узлами которой являются топка, камера для сушки угля в «кипящем слое» под разрежением, система пылеулавливания, герметизирующие устройства и тягодутьевое оборудование.

При работе сушильной установки (рис. 3.4) влажный материал скребково-барабанным питателем 7 подается на стационарный конусный разбрасыватель 8. Последний укладывает уголь равномерным слоем по сечению газораспределительной решетки 10. Сушильный агент из топки 13 (температура 800° С) поступает по борovu 12 под решетку. Это позволяет перевести влажный уголь, находящийся в сушильной камере 9, в псевдооживленное состояние — «кипящий слой». Интенсивный теплообмен между влажным материалом и топочными газами вызывает испарение влаги. Подсушенный материал пересыпается через порог. Скребково-барабанный питатель 11 подает его на конвейер 3. Отработанный теплоноситель (температура 70° С) очищается в системе пылеулавливания 5, 4, 1.

Сушильная камера представляет собой сварную конструкцию

круглого сечения, футерованную в зоне подвода теплоносителя шамотным кирпичом. Внутри камеры расположена газораспределительная решетка провального типа площадью 5 м². Она состоит из сита с отверстиями диаметром 5 мм (живое сечение 10%) и опорной конструкции из жаростойкого металла. Таким же материалом футерованы стенки над решеткой.

Для поддержания необходимой высоты слоя материала в камере предусмотрен переливной порог из съемных пластин. Выгрузка угля при остановке сушилки на уровне газораспределительной решетки осуществляется поворотным шибером донной разгрузки. Для предотвращения налипания пыли в газоходах и сухом пылеуловителе смонтирован обходной газоход *б* с шибером. По этому газоходу теплоноситель через боров *12* входит в систему пылеулавливания. Псевдоожигание слоя угля и транспортировка сушильного агрегата через систему пылеулавливания осуществляются высоконапорным дымососом *2*. Сушку в «кипящем слое» отличают значительная эффективность теплообмена, возможность сушки влагоемких материалов, высокие удельные технологические показатели.

3.1.2. 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 (рис. 3.5) на брикетную фабрику с нефтеперерабатывающих заводов прибывает кондиционное связующее в железнодорожных полувагонах, реже в цистернах. Полувагоны представляют собой четырехосные железнодорожные платформы, на которых установлены четыре самопрокидывающихся бункера вместимостью 10 т каждый. Для слива нефтесвязующего они оборудованы паровой рубашкой (двойными стенками). Внизу паровой рубашки установлен

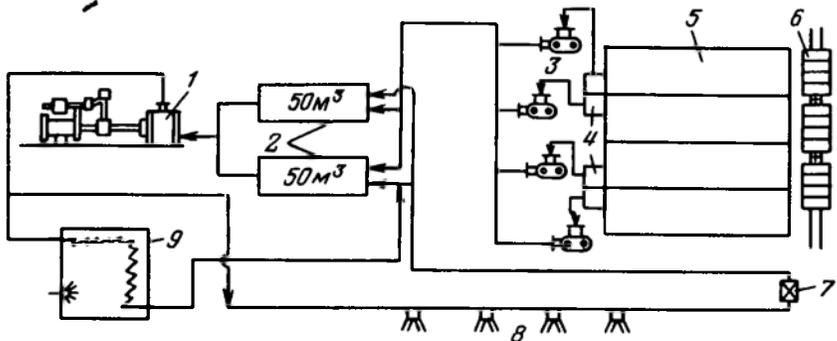


Рис. 3.5. Схема подготовки жидких связующих

патрубок для подвода пара на обогрев бункера. Сверху бункера имеется отверстие для выпуска отработанного пара. Для предотвращения попадания в бункера атмосферных осадков и загрязнения их содержимого устанавливается четырехстворчатая крышка. Цистерны для перевозки связующего термоизолированы и оборудованы змеевиками для внутреннего его разогрева. Выгрузка нефтесвязующего из бункеров осуществляется плавлением по периферии, цистерн — полным плавлением.

Поступившее на брикетную фабрику нефтесвязующее (см. рис. 3.5) 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 500—1000 м³ с шиферным навесом, предотвращающим попадание атмосферных осадков.

В отсеке установлен донный обогрев с паровыми трубчатыми змеевиками, обеспечивающий нагрев связующего до 100—110° С. Дополнительно отсек оборудуется барботажной паровой системой, взмучивающей скапливающиеся на дне осадки. В торце отсека имеется небольшой приемный сборник 4 с примыкающими 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—230° С.

Трубчатая печь представляет собой систему соединенных между собой жаропрочных труб, расположенных в потолочной части печи и по стенам. Трубчатая печь отличается большой конвекционной поверхностью. Циркулирующие внутри печи горячие газы с температурой 800—900° С, образуемые от сгорания жидкого топлива, омывают поверхность труб. В результате

столь интенсивного теплового воздействия связующее за короткое время пребывания в трубчатой печи нагревается до 220—230° С. 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—200° С).

Необходимость в обезвоживании связующего вызвана попаданием в него атмосферных осадков и конденсата в случае порыва донных трубчатых паровых змеевиков. Обезвоживание нефтесвязующих можно осуществлять в специальных плавильных котлах с жаровыми трубами и капельницами. Выпарка происходит при температуре 110—120° С за счет постоянной циркуляции «горячего» и «холодного» связующего. За 6—10 ч выпаривается не более 10 т связующего. Для ускорения обезвоживания в плавильных котлах устанавливают механические мешалки — рыхлители. Мешалки усиливают циркуляцию связующего. Паровоздушные пузырьки всплывают на поверхность и лопаются.

Эффективным средством обезвоживания связующих могут быть небольшие добавки синтетических каучуков. Ввод в обводненное разогретое до 120° С связующее нескольких капель такого вспенивателя приводит к резкому падению поверхностного натяжения паровоздушных пузырьков. Они легко всплывают и разрушаются. Процесс обезвоживания ускоряется в 3—4 раза. Как показала практика, наиболее простым и эффективным является метод прямого смешивания «холодного» и «горячего» связующего. При нем процесс испарения влаги осуществляется мгновенно и достаточно полно.

Обезвоженное связующее, имеющее рабочую температуру 180—200° С, 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.

Известен метод подготовки связующих с помощью электрообогрева. Принцип его заключается в плавлении связующего, находящегося в хранилище, электрообогревательными элементами, имеющими температуру около 220° С. Такой элемент представляет собой металлическую трубу со вставленным в нее керамическим стержнем. Электрообогрев обеспечивает быстрый подъем температуры связующего до «рабочих» значений. Он оборудуется системой автоматического регулирования режима плавления связующего, в работе безопасен.

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.

Для производства нефтесвязующих могут быть использованы различные методы переработки тяжелых нефтяных остатков: атмосферно-вакуумная перегонка, окисление кислородом воздуха, деасфальтизация пропаном, бескомпрессорный и колонный. Кроме того, связующее можно получать компаундированием (смешением) различных тяжелых продуктов нефтепереработки.

Технико-экономическая оценка показывает, что наиболее простым и дешевым является бескомпрессорный метод. Этот метод основан на эффекте всасывания воздуха путем диспергирования его центробежным импеллером в среду окисляемого сырья. Повышенная турбулентность и тонкое регулирование основных физико-химических параметров обеспечивают получение высококачественного связующего. Технологическая схема приема сырья аналогична схеме приема готового связующего, описанной выше. Подготовленное к окислению в нефтесвязующее сырье поступает в реактор.

Реактор (рис. 3.6) 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 *б* устанавливается диспергатор с электроприводом *з*. Частота вращения диспергатора 750 мин^{-1} . В зону окисления воздух поступает непосредственно через диспергатор с использованием эжектора *2*. Подача

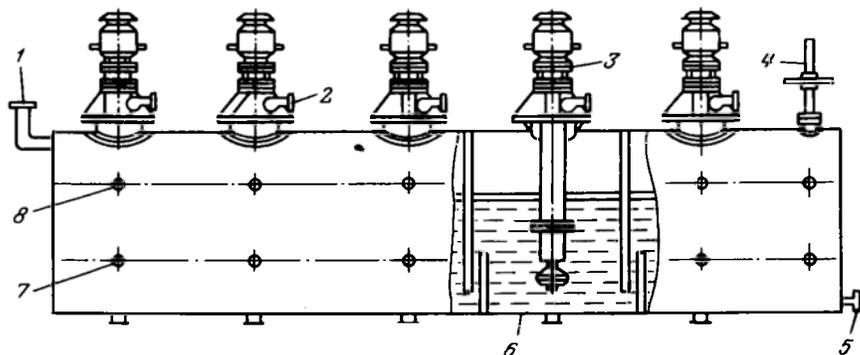


Рис. 3.6. Реактор бескомпрессорного метода получения нефтесвязующих

сырья осуществляется через патрубок 1, выдача — через патрубок 5. Выход газов окисления из каждой секции организован отдельно с последующим отбором в коллекторе. 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. В качестве противопожарной меры посекционно предусмотрена автоматическая подача пара.

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° С. 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.

Производительность реактора зависит в основном от качества исходного сырья и характеристики получаемого связующего. Основной недостаток бескомпрессорного метода — повышенная пожаро- и взрывоопасность в условиях окисления при температурах 300—320° С. Снижение температуры ухудшает качество связующего.

Для приготвления нефтесвязующих можно применять *колонный метод*. По этому методу крекинг-остаток, нагретый в хранилище, подается насосом в теплообменник с готовым связующим. Смесь направляется в смесители, куда подается сжатый воздух для окисления. Газожидкостной продукт после смесителей поступает в колонный реактор, где получают связующее. Про-

Таблица 3.1. Техничко-экономические показатели современных методов производства нефтесвязующих

Удельный расход на 1 т сырья	Метод окисления		
	Окисление кислородом воздуха	Колонный	Бескомпрессорный
Электротенергия, кВт/ч	8,35	5,4	18,2
Топливо, кг	10,5	3,9	6,9
Металл, кг	1,25	1,05	1,41
Пар, кг	172	100	112
Вода, м ³	0,95	1,06	3,00
Показатель фондоотдачи, руб.	0,79	0,89	0,54
Себестоимость связующего, руб.	20,4	19,6	21,0

дукты окисления поступают в испаритель, в котором вода отделяется от газообразной фазы. Газообразные продукты последовательно проходят конденсатор-холодильник и газосепаратор, в которых разделяются на отгон и газовую фракцию. Последняя направляется в камерную печь для сжигания. Отгон является самостоятельным продуктом — ПАВ, улучшающим брикетирующие свойства связующих. Колонный метод в отличие от бескомпрессорного практически полностью безопасен. В табл. 3.1 приведено технико-экономическое сравнение основных методов получения нефтесвязующих в условиях брикетной фабрики.

В процессе подготовки жидких связующих очень важным звеном является его диспергирование. Тонкослойное распределение связующих на угольной поверхности зависит от нескольких факторов: температуры угля, его крупности, вязкости связующих в момент нанесения на твердую фазу.

Вязкость связующих определяется степенью нагрева и характером предельного разрушения их структуры. При температурах 180—200° С вязкость связующих не превышает 0,5—1 Па·с. Они легко распыляются с помощью механических форсунок высокого давления. Наиболее эффективно тонкослойное покрытие связующими достигается в случае использования центробежных широкофакельных механических форсунок. Они обеспечивают максимальный распыл при температуре 180—200° С, давлении 15 МПа и расстоянии до смачиваемой поверхности не более 0,5 м. Хорошее диспергирование связующего через форсунки достигается подачей в них перегретого пара. Образуется устойчивая эмульсия, свободно покрывающая поверхность угля.

Подготовка твердого связующего (каменноугольного пека) на брикетных фабриках осуществляется по следующей технологии. Поступающий в железнодорожных вагонах гранулированный пек выгружается грейферным краном (или через нижние люки) и направляется на склад. Со склада скрепером или другим погрузочным механизмом пек подается на дробление, затем на измельчение в быстроходные дезинтеграторы или мельницы. Тонкоизмельченный пек системой герметически закрытых конвейеров направляется в дозировочный бункер. Степень измельчения обусловлена температурой размягчения пека, повышение которой требует более тонкого измельчения. На участке подготовки пека устанавливается мощная приточно-вытяжная вентиляция, создающая небольшое разрежение в системе движения измельченного пека. Все перепады с герметических конвейеров оборудуются уплотнительными разгрузочными устройствами.

3.1.3. 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.

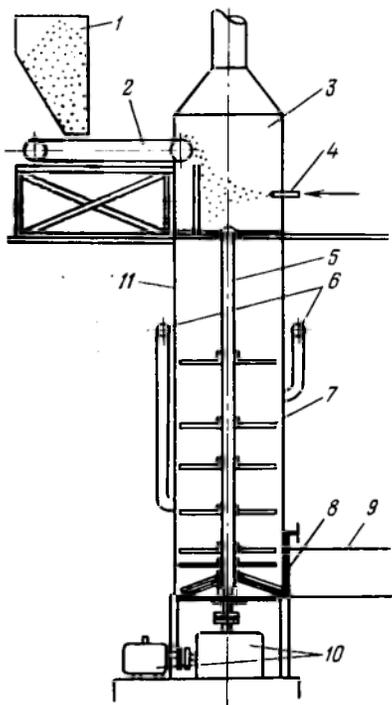


Рис. 3.7. Технологический узел подготовки брикетной смеси в малаксере

Для улучшения усреднения и равномерного тонкослоевого распределения связующего в пространстве между лопастями малаксера подается перегретый пар с температурой до 300°C . 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. 3.7. 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 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 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—10° С ниже температуры размягчения связующего. Эта же вентиляционная система позволяет интенсифицировать вывод пара из малаксера для снижения до минимума влаги брикетной смеси. Описанная технология подготовки брикетной смеси является основной при использовании твердых связующих. Для жидких связующих она применяется редко.

Смешение угля с жидкими связующими наиболее эффективно происходит при вихревом способе, для которого характерно наличие особых вихревых потоков, создаваемых за счет большой окружной скорости вращающихся импеллеров — рыхлителей. Благодаря высоким скоростям угольные зерна приподнимаются и парят над смесительными лопастями. Образуется зона, в которой уголь находится во взвешенном состоянии. Парение частиц обеспечивает тонкослойное покрытие всей угольной поверхности связующим. Более того, связующее успевает несколько раз покрыть частицу равномерным по толщине тонким полислоем пленки при минимальном расходе.

Вихревой смеситель — это автоматически работающая разгрузочно-смесительная установка. Она имеет устройство для взвешивания угля, дозировки и подачи связующего, пара и воды.

Вихревой смеситель (рис. 3.8) состоит из разборного каркаса, на котором смонтированы два смесительных агрегата 1 и устройство для взвешивания угля 18. Каждый смесительный агрегат имеет разрыхляющий импеллер 2 со смесительными лопастями 4. Камера смесителя открывается или закрывается шибером 5, управляемым автоматически. Внутри смесителя расположены две трубы с форсунками 3 для подвода связующего. Уголь подается в смесители поочередно посредством разгрузочно-загрузочного пневматического перестановочного клапана, работающего в автоматическом режиме управления. Каждая порция угля, поступающего в смесители, автоматически взвешивается и фиксируется счетчиком загрузок.

На каждом смесителе установлен автоматический дозатор связующего 15. Дозатор соединен с трубками форсунок и расходной емкостью связующего 9 через насос 10 циркуляционной подачи. Дозатор оборудован фильтром 11 для очистки связующего от посторонних примесей и счетчиком связующего 12. Последний подсоединен к фильтру. Счетчик измеряет объем

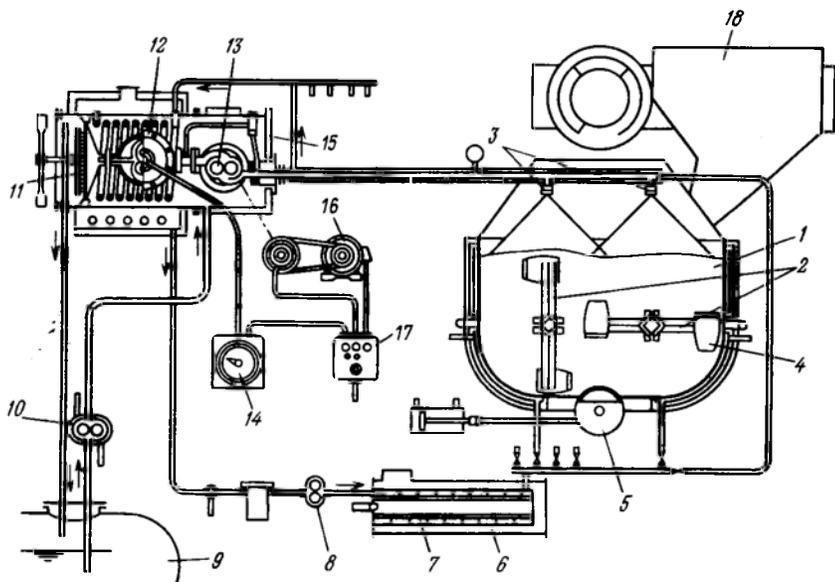


Рис. 3.3. Принципиальная схема вихревого смесителя угля и жидких связующих

впрыскиваемого связующего на каждую порцию загружаемого угля. Импульс измерения от счетчика передается на находящийся снаружи прибор 14 с устройством для установления требуемого объема связующего. Подача связующего в форсунки осуществляется насосом высокого давления 13. Корпус дозатора внутри смывается горячим связующим. Насос высокого давления 13 засасывает связующее из цикла циркуляции, создаваемой насосом 10. Для разогрева дозатора 4 предусмотрена циркуляция горячего масла.

Масло подается насосом 8 из емкости 6, в которой оно подогревается в форсуночной печи 7. Масса или объем связующего, поданного насосом высокого давления, фиксируется расходомером 17. Указание расходомера механически подается на шкалу вынесенного на дистанцию прибора 14. Его стрелка связана с системой вторичной коммутации электродвигателя 16 насоса 13. Как только стрелка расходомера доходит до значения заданного расхода связующего, насос высокого давления отключается, а стрелка-указатель прибора 14 возвращается в первоначальное положение.

Пропускная способность распыляющих форсунок рассчитана так, что время впрыскивания равно времени смешения шихты. Форсунка имеет шариковый клапан с пружиной, срабатывающей только при установленном давлении (не менее 1,5 МПа) связующих. По трубам, расположенным внутри смесителя, пар синхрон-

но впрыскивается со связующим. Пар подается, когда влажность угля не превышает 3%.

Выдача готовой брикетной смеси из вихревого смесителя осуществляется периодически. После истечения установленного времени смещение угля и связующего (обычно не более 40—60 с) готовая смесь выгружается на охлаждающий конвейер через раскрывающиеся дверцы дна смесителя. Последовательность отдельных операций при вихревом способе смешения следующая: взвешивание угля, выгрузка его в смеситель, впрыскивание связующего из шести форсунок (если требуется с паром) с одновременным вихревым смешением угля, разгрузка брикетной смеси.

В табл. 3.2 приводятся данные сравнения двух способов подготовки брикетной смеси — вихревого и в малаксерсере.

Таблица 3.2. Показатели основных методов подготовки брикетной шихты

Показатели	Способ смешения	
	вихревой	в малаксерсе
Производительность, т/ч	50	50
Время смешения, мин	0,7- 1	До 1
Расход связующего, %	7—7,5	8- 8,5
Мощность электродвигателя, кВт	94	80
Механическая прочность брикетов на сбрасывание, %	95	85

Важный этап подготовки брикетной смеси — утилизация брикетной крошки (боя брикетов). Обычно брикетная крошка (кусочки менее 25 мм) в строго определенной пропорции добавляется к компонентам, поступающим на смешение. Для этого необходимо восстановить ее брикетирующую способность. Это достигается путем мягкого разрушения и добавления к ней 2—3% связующего.

Технология переработки брикетной крошки следующая. Бой брикета, отделяемый на неподвижных ситах и механических грохотах в трактах охлаждения и погрузки, собирается системой ленточных конвейеров и возвращается в брикетный цех. Для максимального отбора брикетной крошки все перепады с конвейеров готовых брикетов оборудуются желобами с сетчатым дном. Перед погрузкой в железнодорожные вагоны устанавливаются механические грохоты. Перед подачей брикетной крошки в смесители ее подвергают разламыванию (разрушению) в тихоходных молотковых дробилках или дезинтеграторах. Дробленую брикетную крошку аккумулируют в отдельных бункерах и перед смешением дозируют с углем и связующим.

3.1.4. Прессование

Для уплотнения брикетной смеси обычно применяют вальцовые прессы, развивающие давление прессования 20—50 МПа.

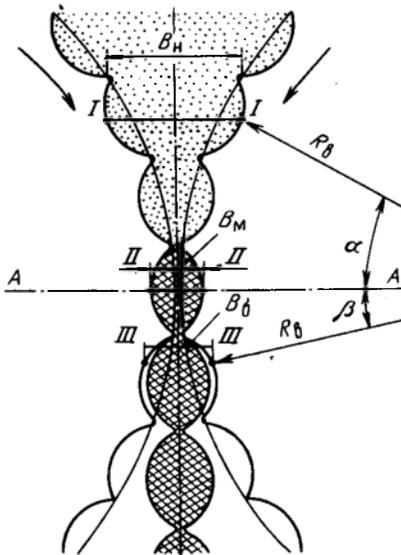


Рис. 3.9. Схема процесса образования брикетов в вальцовом прессе

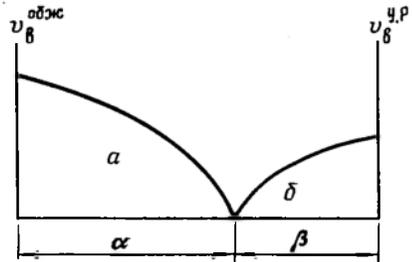


Рис. 3.10. Изменение скорости прессования в вальцовом прессе:
 a — зона обжатия смеси; $б$ — зона упругого расширения брикета; $v_{обж}$ — скорость обжатия; $v_{чр}$ — скорость упругого расширения

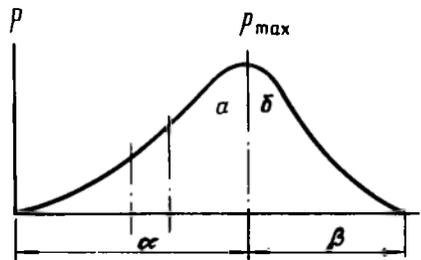


Рис. 3.11. Изменение давления прессования p в вальцовом прессе
 $(a, б$ — то же, см. рис. 3.10)

В вальцовых прессах рыхлая пластичная смесь сжимается в плотные брикеты одинаковой формы и массы. В общем виде процесс образования брикетов показан на рис. 3.9. Начальная толщина слоя брикетной смеси B_n с приложением давления прессования уменьшается до минимальной B_m (отрезок II—II). Эта величина соответствует рабочему зазору между валками на линии центров A—A. Для обеспечения максимальной передачи давления прессования в брикете B_m не должна превышать 1—2 мм. Угол, образованный между радиусом валков R_b , проходящим через крайнюю правую точку отрезка I—I (B_n) и линией центров A—A называется углом зоны обжатия α . Его значения, как показывают теоретические расчеты конструкции пресса, находятся в пределах 7—9 градусов. При достижении максимального сжатия смеси угол α становится равным нулю. В дальнейшем валки расходятся и давление прессования снижается. Начинается процесс упругого последействия (упругого расширения), которое заканчивается на линии отрезка III—III. Этот отрезок соответствует толщине готового брикета B_b . Угол, образованный

между линией центров $A—A$ и пересечением радиуса валков с крайними точками отрезка $III—III$, называется углом зоны упругого расширения β . Максимальные значения этого угла равны 3—5 градусов. Описанная картина представлена графически на рис. 3.10.

Прочность брикетов зависит от скорости обжатия смеси и упругого расширения. На цилиндрической поверхности валка окружная скорость (м/мин) может быть вычислена по формуле

$$v_b = \pi R_b n / 30, \quad (3.5)$$

где n — частота вращения валка, равная 8—12 мин⁻¹.

Отсюда скорость обжатия $v_b^{обж}$ определяется как сумма проекции окружной скорости каждого валка на отрезок $I—I$ (см. рис. 3.9):

$$v_b^{обж} = 2v_b \sin \alpha. \quad (3.6)$$

Максимальные скорости обжатия отмечаются на линии начальной толщины слоя брикетной смеси B_n (отрезок $I—I$). Далее она по синусоидальному закону (рис. 3.11) уменьшается до нулевого значения. Этому соответствует момент приложения максимальных давлений прессования p_{max} (см. рис. 3.10). В зоне упругого расширения брикета скорость также изменяется по синусоиде от нуля до максимального значения.

Скорость упругого расширения определяется как сумма проекции окружной скорости каждого валка на отрезок $III—III$ (см. рис. 3.9):

$$v_b^{уп} = 2v_b \sin \beta. \quad (3.7)$$

Степень уплотнения (обжатия) брикетной смеси и упругого расширения брикетов в текущий момент выражаются следующими уравнениями:

$$B_{тек}^{обж} = 2R(\cos \alpha_1 - \cos \alpha); \quad (3.8)$$

$$B_{тек}^{уп} = 2R(\cos \beta_1 - \cos \beta). \quad (3.9)$$

где α_1, β_1 — соответственно значения угла α и β , отвечающие данному моменту степени уплотнения и упругого расширения брикетов.

Максимальное обжатие и упругое расширение

$$B_n - B_m = 2R(1 - \cos \alpha); \quad (3.10)$$

$$B_0 - B_m = 2R(1 - \cos \beta), \quad (3.11)$$

отсюда

$$\cos \alpha = 1 - \frac{B_n - B_m}{2R}; \quad (3.12)$$

$$\cos \beta = 1 - \frac{B_0 - B_m}{2R}. \quad (3.13)$$

Используя равенство $B_n = B_m K_{обж}$ и $B_6 = B_m K_{y,p}$ определяем

$$\cos \alpha = 1 - \frac{B_m (K_{y,p} - 1)}{2R}; \quad (3.14)$$

$$\cos \beta = 1 - \frac{B_m (K_{y,p} - 1)}{2R}, \quad (3.15)$$

где $K_{обж}$ и $K_{y,p}$ — коэффициент соответственно обжатия и упругого расширения. Для брикетных смесей каменных углей и антрацитов с нефтесвязующими и каменноугольным песком $K_{обж} = 1,4 \div 1,6$; $K_{y,p} = 1,1 \div 1,2$.

Зная угол α и β , можно определить длительность τ (с) образования готового брикета по формуле:

$$\tau = (\alpha + \beta) / (\pi n), \quad (3.16)$$

где α и β — угол соответственно обжатия и упругого расширения, рад.; n — частота вращения валков пресса, мин⁻¹.

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.

Продолжительность обжатия шихты не оказывает большого влияния на качество брикетов. Велика роль скорости снятия давления прессования. При быстром упругом расширении возможно образование не только трещин, но и разрушение брикетов. На процесс прессования существенно влияют хрупкие деформации, которые проявляются при высоких (критических) давлениях прессования. В начале обжатия зерна шихты сближаются. Возникают первичные точечные контакты. В местах соприкосновения зерен поверхность мала, а давление велико. Это вызывает в основном хрупкие деформации. Новые поверхности, которые образовались за счет хрупких деформаций, не имеют связующего. С нарастанием интенсивности обжатия такие места подвержены значительным разрушениям, ослабляющим прочность внутрискруктурных связей. Поэтому даже незначительные упругие расширения в брикете приводят к его разрушению.

В зоне обжатия энергия вальцового пресса расходуется на преодоление трения между брикетной смесью и стенками прессформ, 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.

Для полного и равномерного заполнения ячеек смесью, а также уменьшения влияния сил трения о боковые стенки, тормозящие ее движение на валки, смесь подается с некоторым под-

пором. Он создается за счет заполнения чаши-питателя на 3/4 высоты и проталкивания смеси в загрузочное отверстие лопастями мешалки. Эффект равномерного питания валков можно повысить применением загрузочных устройств особой конструкции или механических питателей-подпрессовщиков.

Очень важное условие устойчивой работы прессов — постоянная загрузка шихтой валков по всей ширине, в результате достигается получение одинаковых по размеру брикетов и равномерный износ поверхности бандажей. Если износ бандажей неравномерный, то становится невозможным поддержание требуемого постоянного минимального зазора (1–2 мм) между валками. Увеличение зазора между валками приводит к просыпанию и выдавливанию брикетной смеси. Уменьшается производительность пресса. Снижаются давление прессования и прочность брикетов.

Для получения прочной связи в брикетах необходимо равномерное уплотнение брикетной смеси по всему объему ячейки. Оно обеспечивается правильным выбором размеров и форм ячеек. Эти же параметры оказывают влияние на свободный выход брикета из ячейки, а также на условия его охлаждения, погрузки и сжигания. Силами, удерживающими брикет в ячейке, являются силы трения о ее боковые поверхности. Согласно М. И. Сарматову, коэффициент трения, при котором брикет выходит из ячейки пресса, определяют по формуле

$$\mu \leq \frac{2n(1+k) + \pi + kn^2}{2n(1+k) + 0,5\pi^2}, \quad (3.17)$$

где k и n — линейные размеры формы ячейки.

Чем ближе значения k и n к единице, тем выше степень использования поверхности валков. Оптимальной считается форма, близкая по своей конфигурации к форме брикета, соответствующей параллелепипеду с полуцилиндрами. Она легко фрезеруется. Через нее во всей полноте передаются усилия прессования. Такая конфигурация способствует активному горению брикета. Следует иметь в виду, что технологическое использование брикетов эффективней, когда у них небольшой объем, плоская поверхность при общей округлости формы.

Передача давления в глубь зависит от пластичности смеси, объема ячейки и гранулометрического состава угля. Для обеспечения хорошего уплотнения внутренних слоев брикета прежде всего следует применять пресс-формы малых объемов (30–50 см³). Не допускать большого (более 2 мм) зазора между валками и износа поверхности формирующих элементов.

Производительность ($t/ч$) вальцового пресса может быть определена по формуле

$$Q = 0,366 B_m \gamma_{обж} v_n, \quad (3.18)$$

где b — ширина валков, см; B_m — максимальное сжатие брикетной смеси (толщина брикета), см; $\gamma_{обж}$ — объемная масса сжатого слоя брикетной смеси (брикета), г/см³; v_v — окружная скорость валка, м/с.

Более простая формула для определения производительности (т/ч) вальцового пресса следующая:

$$Q = 0,00006n_v i g, \quad (3.19)$$

где n_v — частота вращения валков, мин⁻¹; i — число ячеек на цилиндрической поверхности валков; g — масса брикета, г.

Число ячеек можно определить из выражения

$$i = 2\pi R_v b \varphi / (Sl), \quad (3.20)$$

где S — ширина ячейки (размер по окружности валка), м; l — длина ячейки (размер вдоль образующей валка); m ; φ — степень использования поверхности валков, равная 0,85—0,95.

3.1.5. 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—65 до 20—25° С. 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. Оптимальной считается загрузка брикетов в один — два слоя.

Охлаждение и упрочение зависят от влажности брикетов, входящих из пресса. Эффективно охлаждаются брикеты с долей общей влаги 3—4%, но не более 5—6%. При более высокой доле общей влаги происходит ее интенсивное испарение, образуются трещины, снижается прочность брикетов. В тех случаях, когда невозможно предотвратить чрезмерное увлажнение брикетов, их следует охлаждать очень медленно.

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, опро-

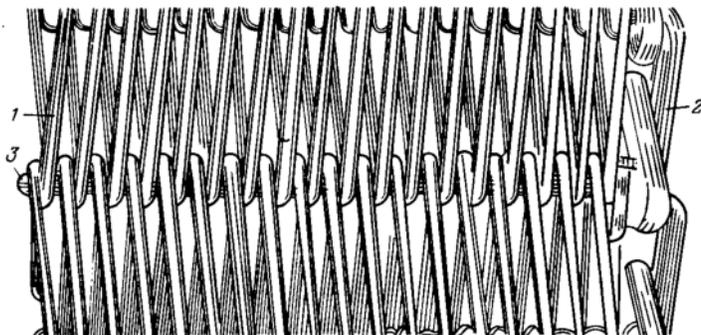


Рис. 3.12. Сетчатая металлическая лента для конвейера охлаждения брикетов:

1 — проволока плетения сетки; 2 — упорное устройство; 3 — валик крепления проволоки плетения сетки

шение 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 (рис. 3.12) 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

Используя равенство $B_n = B_m K_{обж}$ и $B_6 = B_m K_{y,p}$ определяем

$$\cos \alpha = 1 - \frac{B_m (K_{y,p} - 1)}{2R}; \quad (3.14)$$

$$\cos \beta = 1 - \frac{B_m (K_{y,p} - 1)}{2R}, \quad (3.15)$$

где $K_{обж}$ и $K_{y,p}$ — коэффициент соответственно обжатия и упругого расширения. Для брикетных смесей каменных углей и антрацитов с нефтесвязующими и каменноугольным песком $K_{обж} = 1,4 \div 1,6$; $K_{y,p} = 1,1 \div 1,2$.

Зная угол α и β , можно определить длительность τ (с) образования готового брикета по формуле:

$$\tau = (\alpha + \beta) / (\pi n), \quad (3.16)$$

где α и β — угол соответственно обжатия и упругого расширения, рад.; n — частота вращения валков пресса, мин^{-1} .

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.

Продолжительность обжатия шихты не оказывает большого влияния на качество брикетов. Велика роль скорости снятия давления прессования. При быстром упругом расширении возможно образование не только трещин, но и разрушение брикетов. На процесс прессования существенно влияют хрупкие деформации, которые проявляются при высоких (критических) давлениях прессования. В начале обжатия зерна шихты сближаются. Возникают первичные точечные контакты. В местах соприкосновения зерен поверхность мала, а давление велико. Это вызывает в основном хрупкие деформации. Новые поверхности, которые образовались за счет хрупких деформаций, не имеют связующего. С нарастанием интенсивности обжатия такие места подвержены значительным разрушениям, ослабляющим прочность внутрискруктурных связей. Поэтому даже незначительные упругие расширения в брикете приводят к его разрушению.

В зоне обжатия энергия вальцового пресса расходуется на преодоление трения между брикетной смесью и стенками прессформ, 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.

Для полного и равномерного заполнения ячеек смесью, а также уменьшения влияния сил трения о боковые стенки, тормозящие ее движение на валки, смесь подается с некоторым под-

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. Повышает их прочность и препятствует слипанию. Брикеты приобретают гладкую блестящую поверхность, уменьшается пыление при погрузке.

Охлаждать брикеты дополнительно можно во время погрузочных работ. Для этого на погрузочный железнодорожный путь устанавливается партия из 5—6 вагонов. Их загрузка осуществляется тонким слоем при постепенном двухстороннем движении состава. Операция двухстороннего перемещения вагонов производится до тех пор, пока вагоны полностью не загружаются. Способ послонной погрузки позволяет сравнительно быстро и дешево проводить дополнительное эффективное охлаждение брикетов.

В большинстве случаев брикеты после конвейера охлаждения поступают в рампу (рис. 3.13). 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.

3.1.6. Технологические схемы брикетных фабрик

Схема оборудования каменноугольной брикетной фабрики Донецкого бассейна, применяющей нефтесвязующее, показана на рис. 3.14. Компоновка оборудования в сушильно-прессовом и охладительных корпусах представлена пятью самостоятельными агрегатными секциями производительностью по 50 т/ч каждая (четыре рабочих и одна резервная). Для простоты на схеме показана одна секция.

Мелкий обогащенный концентрат крупностью 0—6 мм из корпуса обогащения конвейером 1 подается на распределительный скребковый конвейер 2. Далее питателем-забрасывателем из бункера 3 подается в трубу-сушилку 4 диаметром 900 мм. В процессе

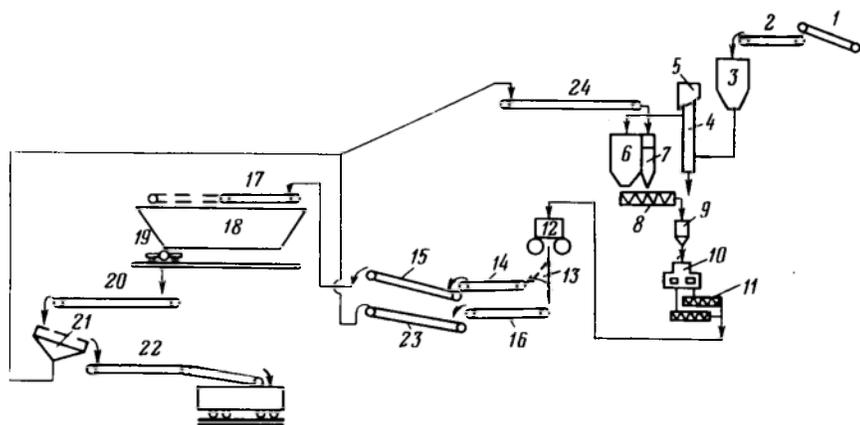


Рис. 3.14. Схема оборудования каменноугольной брикетной фабрики с нефтесвязующим

сушки уголь подогревается до $70\text{--}80^\circ\text{C}$ и через проходной сепаратор 5 направляется в бункер 6. Из бункера 6 сухой уголь и брикетная крошка (бункер 7) выдаются в установленной пропорции в горизонтальный смеситель 8. Смесь твердых компонентов поступает в бункер 9, из которого в строго дозированном объеме она подается в вихревой смеситель 10 для контакта с нефтесвязующим. Компоненты брикетной смеси смешиваются и разгружаются в охлаждающие шнеки 11.

Все процессы (дозировка угля и связующего, загрузка, смешивание и выгрузка шихты) в смесителе 10 автоматизированы. Брикетная смесь после охлаждения в шнеках поступает в вальцовые прессы 12. Брикеты, выходящие из прессов, подвергаются отсеву от неспрессовавшейся мелочи на стационарном сите 13. Затем они поступают на охлаждающий ленточный конвейер 14 и охлаждаются на обеих ветвях конвейера. Для интенсификации охлаждения в летнее время предусмотрен дополнительный обдув брикетов воздухом. Охлажденные брикеты транспортируются конвейером 15 к пункту погрузки или резервным конвейером 17 послойно загружаются в рампу 18 вместимостью 700 т.

Брикеты выгружаются из рампы лопастным передвижным питателем 19 на конвейер 20. Далее брикеты проходят через стационарный колосниковый грохот 21 и конвейером-стрелой 22 укладываются в железнодорожные вагоны.

Провал труб-сушилок и неспрессовавшаяся мелочь с грохота 13 конвейером 16 подаются на конвейер 23, на который одновременно поступает брикетная крошка с грохота 21. Далее смесь указанных продуктов направляется на распределительный скребковый конвейер 24, затем в бункера брикетной крошки 7.

В технологическом комплексе описываемой фабрики предус-

мотрена установка по производству нефтесвязующего бескомпрессорным методом.

Все процессы брикетного отделения автоматизированы. Управление производится с диспетчерского пункта и пульта оператора агрегатами вальцовых прессов.

Разновидностью вышеприведенной схемы является технологический комплекс антрацитовой брикетной фабрики. По этой технологии антрацит после обогащения конвейерами направляется в бункера силосного типа. Откуда подается в бункер питания сушиллки. Из этого бункера антрацит дозируется в сушильные барабаны. В качестве теплоносителя для сушки используются горячие газы газогенератора. Последний работает на антрацитовой пыли из системы пылеулавливания сушки. Дымовые газы дымососом отсасывают через систему циклонов и мокрых скрубберов. Шлам последних идет на обогатительную фабрику. Сухой антрацит транспортируется для дробления до 3 мм в молотковую дробилку и далее в бункер. Из бункера дробленый антрацит дозатором направляется в двухвальный смесительный шнек, в который поступают дробленая брикетная крошка и твердое связующее. В случае применения жидкого связующего твердая смесь дозатором подается в камеру, находящуюся над малаксером.

В малаксере брикетная смесь пропаривается перегретым паром, имеющим температуру 280—300° С. Использование перегретого пара позволяет свести до минимума его конденсацию и увлажнение шихты. Брикетная смесь из малаксера направляется на охладительный шнек, где за счет принудительного обдува она охлаждается до 50—60° С. Далее смесь, пройдя чашу-питатель, подается на вальцовый пресс. Готовые брикеты проходят колосниковый грохот и охлаждаются на конвейере с металлической сетчатой лентой. После охлаждения брикеты аккумулируются в бункерах. Выгрузка брикетов из бункера производится вибропитателями-грохотами на конвейеры — погрузочные стрелы для автоматической загрузки в железнодорожные вагоны.

Брикетная крошка собирается во всех отсевных точках системы ленточных конвейеров. Дробится в молотковой дробилке до 3 мм и аккумулируется в отдельном бункере.

В тех случаях, когда окислительная установка не работает, как это предусмотрено на одной из брикетных фабрик СРР, используется твердое связующее. Оно поступает на фабрику в железнодорожных вагонах в виде кусков. После дробления до 5 мм твердое связующее поступает для измельчения до 1 мм в специальный измельчитель. Технологическая схема данной фабрики позволяет твердое связующее переводить в жидкое состояние. Для этого твердые куски загружаются в емкость-приемник, где разогреваются паром до 100—120° С. Далее связующее поступает на вторую стадию подогрева до 220° С. Горячее связую-

щее высоконапорным насосом-дозатором подается непосредственно в камеру над малаксером.

Современная брикетная фабрика, спроектированная фирмой «Вибау» (ФРГ), для производства каменноугольных брикетов с нефтесвязующим показана на рис. 3.15.

Схема оборудования технологического комплекса этой фабрики следующая. По ленточному конвейеру 1, обогащенный уголь крупностью менее 3 мм совместно с флотоконцентратом и пылью, уловленной на обогатительной фабрике, поступает на конвейер 2. Этот конвейер через передвижные реверсивные конвейеры 3, загружает уголь в 36 усреднительных камер — бункеров, расположенных в два ряда. Из бункеров уголь выгружается с помощью вибрлотков 4 на два реверсивных ленточных конвейера 5. Последние имеют возможность направлять уголь не только на брикетирование (конвейеры 6, 7), но и на погрузку в железнодорожные вагоны.

Конвейер 7 заполняет бункер 8 в автоматическом режиме. При наполнении последнего система механизмов 4—9 останавливается. Из бункера 8 сырой уголь винтовыми смесителями дозаторами 9 через питатели 10 и забрасыватели 11 подается в трубы-сушилки 12. В трубах-сушилках доля влаги угля снижается с 12—18 до 1—2%. Горячие газы в сушилку поступают из топков 13, работающих на пылевидном топливе. Для растопки используется мазут, поступающий со склада через рабочий бак 14, насосы 15 и форсунки 16.

За разгрузочной камерой 17 располагаются по два циклона-сепаратора 18. Для улавливания тонкой пыли используются электрофильтры 19. Отсос газов производится дымососами 20 с установленными над ними дымовыми трубами 21.

Пыль, уловленная в электрофильтрах, герметичными цепными конвейерами 22 подается в бункера 23 (пылевидного топлива) и бункера 24, откуда питателями и конвейерами 25 направляется для брикетирования.

Из циклона-сепаратора 18 уголь через разгрузчики поступает на конвейер 26 и далее в бункера сухого угля 27. Выгрузка последних осуществляется питателями на конвейеры.

Внизу разгрузочной камеры 17 установлен сепаратор 59, который отделяет зерна крупнее 3 мм и направляет их через забрасыватель 60 прямо или после дробления в молотковой дробилке 61 в трубу-сушилку.

Некачественный брикет (брикетная крошка), пройдя ударно-отражательную дробилку 52, поступает в бункер 28. Выгрузка бункера 28 осуществляется питателями на конвейеры 25. Продукты бункеров 24, 27 и 28 поступают в термоизолированные спаренные винтовые конвейеры 29 и на два цепных конвейера 30. Последние передают угольную смесь в пять приемных резервуаров 31, из которых она дозированными порциями поступает

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

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

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

Частичное брикетирование угольной шихты перед коксованием является одним из эффективных современных методов интенсификации коксового производства. Угольная масса в виде брикетов изменяет объем шихты, находящейся в коксовой батарее. В результате на стадии пластического состояния брикеты вспучиваются. При превращении их в кокс наблюдается усадка. Кроме того, увеличение объема брикетов вызывает существенное уплотнение всей шихты, что в свою очередь улучшает качество кокса. Этот метод благоприятствует повышению производительности коксовых печей, а также вовлечению в коксовые ресурсы слабоспекающихся углей. Приготовление брикетов осуществляется по обычной технологии брикетирования каменных углей со связующими на вальцовых прессах.

Одним из важнейших факторов, влияющих на процесс брикетирования и последующее коксование брикетов — правильный выбор связующего, которое определяет не только механическую

в вихревые смесители 32. В вихревые смесители подается распыленное связующее.

Основная масса нефтесвязующего концентрируется в специальных баках-хранилищах. Из них оно перекачивается в два рабочих резервуара 33, расположенных на одной отметке с вихревыми смесителями. Распыление и дозировка нефтесвязующего в вихревых смесителях осуществляются насосами высокого давления 34 и дозаторами 35. После смешения угля и нефтесвязующего готовая брикетная смесь с помощью вибролотков 36 выгружается из вихревых смесителей и поступает для охлаждения в винтовые конвейеры 37. Охлажденная смесь желобами 38 направляется в распределительные чаши 39 вальцовых прессов 40. Все отсасываемые выделения от вихревых смесителей, винтовых охладительных конвейеров, вальцовых прессов улавливаются в двух обеспыливателях 41.

Брикеты, выходящие из прессов, выгружаются на ленточные конвейеры 42. Наклонными желобами 43 их укладывают тонким слоем на охладительные сетчатые конвейеры 44, ширина которых 2000 мм. Для отсева мелочи перед погрузкой установлены механические грохоты 45 с загрузочными устройствами 46. Брикетная крошка с охладительных конвейеров собирается с помощью ленточных 47 и цепных 48 конвейеров в промежуточный бункер 49. Из последнего бой брикетов конвейером 50 и ковшевым элеватором 51 подается в ударно-отражательную дробилку 52.

Погрузка брикетов в железнодорожные вагоны осуществляется реверсивными погрузочными конвейерами-стрелами 53. Вертикальное перемещение приводных головок этих конвейеров производится специальными лебедками. Улавливание пыли на участке погрузки производится мокрым пылеуловителем 54.

На участке погрузки находятся узел выгрузки нефтесвязующего, поступающего на брикетную фабрику в цистернах 55. Связующее перекачивается в хранилища 57 насосом 56. На территории погрузки находится также яма 58 для приема боя брикетов, собранного с площадки железнодорожных путей. Из ямы 58 ленточным конвейером материал подается на сборный конвейер брикетной крошки 50 и далее направляется для повторной технологической переработки в общий цикл брикетирования.

3.1.7. Методы специальной обработки брикетов

К специальным относятся методы бездымного производства брикетов и частичного брикетирования угля перед коксованием.

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

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

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

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

Частичное брикетирование угольной шихты перед коксованием является одним из эффективных современных методов интенсификации коксового производства. Угольная масса в виде брикетов изменяет объем шихты, находящейся в коксовой батарее. В результате на стадии пластического состояния брикеты вспучиваются. При превращении их в кокс наблюдается усадка. Кроме того, увеличение объема брикетов вызывает существенное уплотнение всей шихты, что в свою очередь улучшает качество кокса. Этот метод благоприятствует повышению производительности коксовых печей, а также вовлечению в коксовые ресурсы слабоспекающихся углей. Приготовление брикетов осуществляется по обычной технологии брикетирования каменных углей со связующими на вальцовых прессах.

Одним из важнейших факторов, влияющих на процесс брикетирования и последующее коксование брикетов — правильный выбор связующего, которое определяет не только механическую

прочность брикетов, но и их способность коксоваться. Спекаемость связующих для этого процесса является одной из главных их характеристик. Несмотря на большой выход летучих веществ у связующих, они оказывают существенное влияние на коксование. Во-первых, связующее способствует лучшему вспучиванию брикетов, вызывая увеличение их объема в 1,2—1,5 раза. По этой причине происходит уплотнение угольной загрузки в коксовой печи и улучшается ее спекание. Во-вторых, связующее способствует механическому упрочению брикетов, что также положительно влияет на коксование. В качестве связующих рекомендуется использовать нефтесвязующие, каменноугольный пек, каменноугольную и сланцевую смолу и углемасляный пек.

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

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

3.2. ТЕХНОЛОГИЯ БРИКЕТИРОВАНИЯ БУРЫХ УГЛЕЙ

Технологии брикетирования молодых и плотных зрелых бурых углей принципиально отличны. Первые брикетируются без связующих, вторые со связующими. Технология окускования последних аналогична брикетированию каменных углей и антрацитов. В данном разделе рассматривается технология брикетирования молодых бурых углей.

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%; теплота сгорания 24 000—30 000 кДж/кг; зольность 10—25%.

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.

Технологическую оценку бурых углей осуществляют по их брикетирующей способности. Она определяется по коэффициенту уплотнения высушенного угля, упругому расширению брикетов,

насыпной плотности угля и кажущейся плотности брикетов до и после расширения. Брикеты изготавливаются на лабораторном гидравлическом прессе в стандартных условиях (крупность и влажность угля соответственно до 6 мм и 20%, давление пресования 100—120 МПа).

3.2.1. 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 содержание кусков размером более 400—500 мм значительно. Предварительное дробление осуществляется на двух уровнях. В отделении углеприема уголь лопастными (крыльчатыми) 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. 3.16) 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.

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. Схема рис. 3.17, а наиболее простая и часто встречающаяся. Она пригодна для углей с большим содержанием мелочи. Схема, изображенная на рис. 3.17, б, рекомендуется для углей с малым содержанием мелочи, но большой долей крупных кусков и наличием лигнита. Она также пригодна при переработке смержшихся углей. При повышенном содержании в буром угле волокнистого лигнита

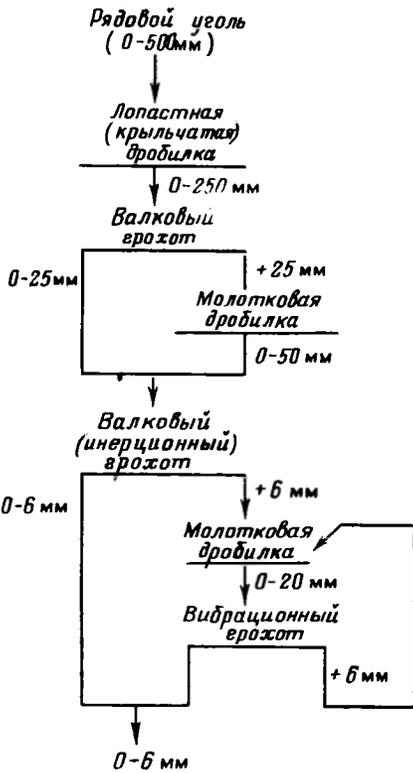


Рис. 3.16. Схема операции подготовки бурого угля по крупности

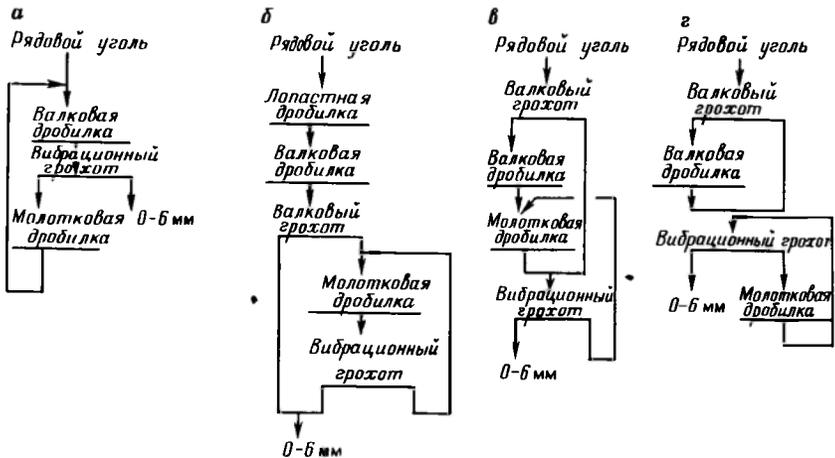


Рис. 3.17. Различные варианты схем подготовки угля по крупности на бурогольных брикетных фабриках

предусматривается периодический вывод скапливающегося лигнита для сжигания в котельной. По этой схеме (см. рис. 3.17, в) достигается минимальный возврат надрешетного продукта виброгрохота на додрабливание. В тех случаях, когда в углях мало лигнита или он представлен хрупкими разновидностями и незначительно содержание крупных кусков, применяется схема рис. 3.17, г. Она отличается технологической простотой.

При выборе того или иного варианта технологии подготовки бурого угля по крупности необходимо учитывать влияние специфических свойств угля, содержание крупных классов мелочи. 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.

Повышенное содержание угольных зерен крупнее 6 мм связано с неудовлетворительной работой классификационных грохотов и неполадками в молотковых дробилках. Однако всегда следует помнить и учитывать, что уголь продолжает измельчаться при транспортировке и во время сушки.

Для повышения технологического эффекта дробления и грохочения рекомендуется подсушка рядового угля отходящими газами котельной. Улучшение классификации на грохотах достигается равномерным распределением материала по всей ширине сита. Это особенно важно учитывать при подаче материала на грохоты, где отделяется класс 0—6 мм. Неблагоприятно на работу аппаратов ДСО сказывается сегрегация. Она приводит к выпуску конечного продукта с большим содержанием избыточных зерен.

Для обеспечения оптимального гранулометрического состава брикетируемого угля следует четко выдерживать требуемый ре-

жим работы дробилок и грохотов. Особенно важно установить оптимальную частоту вращения молотковых дробилок в зависимости от крупности исходного продукта. Завышенные скорости приводят к переизмельчению, тонкому помолу лигнита и ослаблению структуры нераздробленных зерен.

При дроблении мягких углей следует отдавать предпочтение валковым дробилкам, не допускающим переизмельчение. Грохоты, выполняющие подготовительные функции, должны создавать достаточно высокие вибрации или интенсивные возвратно-поступательные колебания. 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.

Производительность дробильно-сортировочного отделения бурого угольной брикетной фабрики рассчитывается по формуле

$$Q_{\text{ДСО}} = Q_{\text{бр}} + Q_{\text{ТЭЦ}} + Q_{\text{кр}}, \quad (3.21)$$

где $Q_{\text{бр}}$ — необходимый расход угля для планового производства, определяемый по формуле (3.2); $Q_{\text{ТЭЦ}}$ — то же, для устойчивой работы ТЭЦ; $Q_{\text{кр}}$ — планируемый расход крупного угля для отправки прочим потребителям.

$Q_{\text{ТЭЦ}}$ — определяется в зависимости от технологической потребности пара в брикетном производстве и собственных нужд ТЭЦ. Если уголь на ТЭЦ поступает непосредственно с разреза, то $Q_{\text{ТЭЦ}}$ — в формуле (3.21) не учитывается.

$Q_{\text{кр}}$ устанавливается планирующими организациями. Суточная производительность ДСО рассчитывается из условий 22 ч работы отделения при коэффициенте неравномерности загрузки оборудования, равном 1,25.

3.2.2. 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 *влагоразность угля — влажность отдельных классов крупности, зависящую от гранулометрического состава*. Как бы тщательно ни осуществлялся процесс сушки, влажность тонких частиц всегда всегда намного ниже, чем крупных. Например, влажность пыли, уловленной в электрофильтрах, не превышает 8%; угольных частиц крупностью до 1 мм — 10—12%, а зерен размером более 3 мм — 30%. 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, додразбивать и дополнительно сушить. Наилучший эффект такого процесса достигается в тарельчатых сушилках.

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.

Выравнивание влагоразности сухого угля осуществляется под непосредственным воздействием атмосферного воздуха соответственно парциальному давлению влаги в воздухе. Установившееся содержание влаги угля представляет собой точку гигроскопичности. Для сохранения высокого качества брикетов, подвергаемых длительному хранению, необходимо, чтобы влажность высушенного угля и брикетов приближалась к точке гигроскопичности, соответствующей средним атмосферным условиям. Рекомендуется осенью и зимой выпускать брикеты более влажными, чем летом.

Процесс сушки подразделяется на следующие периоды:

период нагрева, характеризуемый быстрым ростом температуры угля и скорости сушки (однако доля влаги, испаряемой в этот период, незначительна);

период постоянной скорости, наступающий при достижении максимальной сушки (в это время из угля удаляется основная доля влаги, уголь приобретает постоянную температуру);

период падающей скорости, наступающий, когда уголь приобретает критическую влажность, при которой предельно снижается интенсивность сушки.

На скорость и длительность сушки влияют природа буроуго-

угля, доля исходной влаги, крупность, удельная производительность сушилки, интенсивность перемешивания угля в процессе движения по сушильному агрегату, температура, влажность и скорость подачи теплового агента.

Для сушки бурого угля обычно применяют паровые сушилки, которые обеспечивают более мягкое термическое воздействие на уголь, чем газовые. Мягкий пар из паросиловых установок поступает в сушилку с давлением 0,25—0,4 МПа при перегреве до 140—160° С. Сочетание паровой сушилки с ТЭЦ весьма экономично и технологично. Различают два основных вида паровых сушилок: трубчатую и тарельчатую. Подробно их конструкции описаны в гл. 4.

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° с частотой вращения 5—10 мин⁻¹.

Важно выдерживать оптимальные параметры: давление пара 0,25—0,4 Па и температуру в сушилке 126—147° С. Повышение давления пара вызывает повышение температуры его насыщения. Температура стенки трубки сушилки становится близкой к последней.

Избыточный перегрев пара усиливает опасность воспламенения угля и значительных напряжений в днище сушилки.

Изменение давления пара способствует повышенному образованию конденсата. Падает производительность сушилки. Повышается влажность сушеного угля. При большом разрежении увеличивается доля тепла, идущая на нагрев воздуха. Снижается количество тепла на испарение влаги из угля. Относительная влажность паровоздушной смеси возрастает до 70%. Ухудшается процесс сушки и увеличивается влагоразность. Регулируя разрежение, можно оптимизировать производительность сушилки и влагоразность сухого угля. Разрежение, как было сказано выше, тесно связано с относительной влажностью паровоздушной смеси. Последняя оказывает значительное влияние на устойчивость сушки. При выходе из сушилки относительная влажность паровоздушной смеси должна составлять 45—47%.

Достаточное и равномерное заполнение трубок сушилки углем позволяет оптимизировать ее производительность и качество сухого продукта. Для достижения высоких показателей работы сушилки осуществляют поддув угля в трубки нагретым воздухом,

поддерживают постоянное заполнение бункеров питания углем, тщательно шихтуют уголь.

Технологические преимущества тарельчатой сушилки, как указывалось выше, заключаются в возможности отсева и дробления крупных классов в режиме непрерывной и равномерной сушки угля. Тарельчатая сушилка более чувствительна к изменениям гранулометрического состава поступающего угля. При большом содержании крупных зерен падает ее производительность и ухудшается качество сухого угля. Для нее характерны небольшое насыщение паровоздушной смеси, низкие удельное потребление пара и температура сухого угля. Тарельчатая сушилка отличается громоздкостью, обладает энергоемкой системой обеспыливания. В целом эта сушилка менее технологична, чем трубчатая. Практически на всех современных буроугольных брикетных фабриках трубчатая сушилка является основным сушильным аппаратом.

Применение газовой сушилки для брикетирования бурых углей нежелательно. В результате воздействия на уголь высоких температур и скоростей движущегося газа поверхность материала становится жестче. Резко снижается брикетирующая способность угля. Особенно неблагоприятно это сказывается на мельчайшие частички. Они успевают за время сушки пройти стадию полукочкования и полностью потерять связующую способность.

Известны случаи комбинирования паровой и газовой сушилок. При этом снижается вредное влияние газов на брикетирующую способность и создаются условия повышения температуры пара при постоянном его давлении.

3.2.3. Охлаждение угля перед прессованием

Уголь после сушки имеет высокую температуру. В паровой трубчатой и тарельчатой сушилках он нагревается соответственно до 75—85 и 65—70° С. 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.

Высокая температура сухого угля уменьшает сопротивление в прессовом канале и увеличивает нагрев формовочных частей пресс-формы. Охлаждение сухого угля до 40—50° С благоприятствует работе штемпельных прессов. Оно также способствует разрушению комков угля, образовавшихся в процессе сушки и выравниванию влажности во всех классах крупности. Эффективность охлаждения зависит от времени и интенсивности соприкосновения между собой угольных зерен. Последнее обстоятельство может быть усилено предварительным контрольным грохочением, разрушающим комки и слипшиеся частицы.

Охлаждение сухого материала является обязательной опера-

цией 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 охлаждательным элементам без задержки. 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—45° С.

Для охлаждения сухого угля иногда применяют *тарельчатые охладители*. Они работают по принципу тарельчатой сушилки, в которой вместо пара циркулирует вода. Зачастую для охлаждения используют несколько нижних этажей тарельчатой сушилки.

Известен турбинный охладитель, напоминающий газовую сушилку. В охладителе с вращающимся барабанным ситом с черпаками (охладитель Андерша) сухой уголь движется в осевом направлении и, попадая в черпаки, обходит сито 10—30 раз. Сухой уголь в черпаках находится во взвешенном состоянии за счет поступления в сепаратор воздуха. Для увеличения ско-

рости охлаждения разрыхленный уголь опрыскивается шламовой водой.

3.2.4. Прессование

Прессование — основной процесс в общей технологии брикетирования бурого угля. В процессе прессования под действием высоких механических усилий (80—120 МПа) происходит обжатие угольной мелочи. В результате она превращается в прочный кусковой продукт — брикет. Для производства буроугольных брикетов наибольшее распространение нашли штемпельные прессы. Иногда бурый уголь брикетируют в кольцевых прессах.

Материал, поступающий в *штемпельный пресс*, сжимается между торцом штемпеля и группой брикетов в матричном канале. Давление прессования развивается за счет сил трения брикетов в канале и частично в лотке в течение определенного времени. Схематически работу штемпельного прессы можно представить следующим образом. За один оборот коленчатого вала штемпель прессы совершает полный цикл возвратно-поступательного движения (рис. 3.18). За этот период последовательно выполняются четыре операции: перемещение сухого угля из загрузочной камеры в матричный канал, прессование, проталкивание брикетов по матричному каналу на величину H_2 и заполнение сухим углем пространства перед штемпелем.

При перемещении сухого угля в матричный канал штемпель совершает путь OA , равный $L - H_1$ (см. рис. 3.18, *a*), без заметного повышения давления на его торце. Уголь прессуется во время перемещения штемпеля из точки A в точку B_1 на отрезке пути, равном $H_1 - H_2$ (см. рис. 3.18, *a*). Здесь перемещение штемпеля сопровождается интенсивным ростом удельного давления от нуля в точке A до максимального в точке B . Со стороны упора давление по штемпелю уравнивается сопротивлением брикетов в матричном канале. При этом прессуемый материал из сыпучего с исходной высотой слоя H_1 превращается в брикет высотой H_2 . Отношение $H_1:H_2$ называется *коэффициентом уплотнения* k_1 .

Зависимость между удельным давлением на торце штемпеля p_c и на подвижном упоре в точке, расположенной на расстоянии H_2 от торца штемпеля, выражается формулой

$$p_b = p_c e^{aH_2}, \quad (3.22)$$

где e — основание натурального логарифма; a — постоянная, равная $\mu\xi\omega/F$; μ — коэффициент трения брикетов в матричном канале; ξ — коэффициент бокового распора; F — площадь поперечного сечения матричного канала, m^2 ; ω — периметр поперечного сечения матричного канала, m .

Площадь диаграммы прессования S_1 (см. рис. 3.18, *a*) ограниченная кривой AB , ординатой B_1 и абсциссой B_1A , пропорцио-

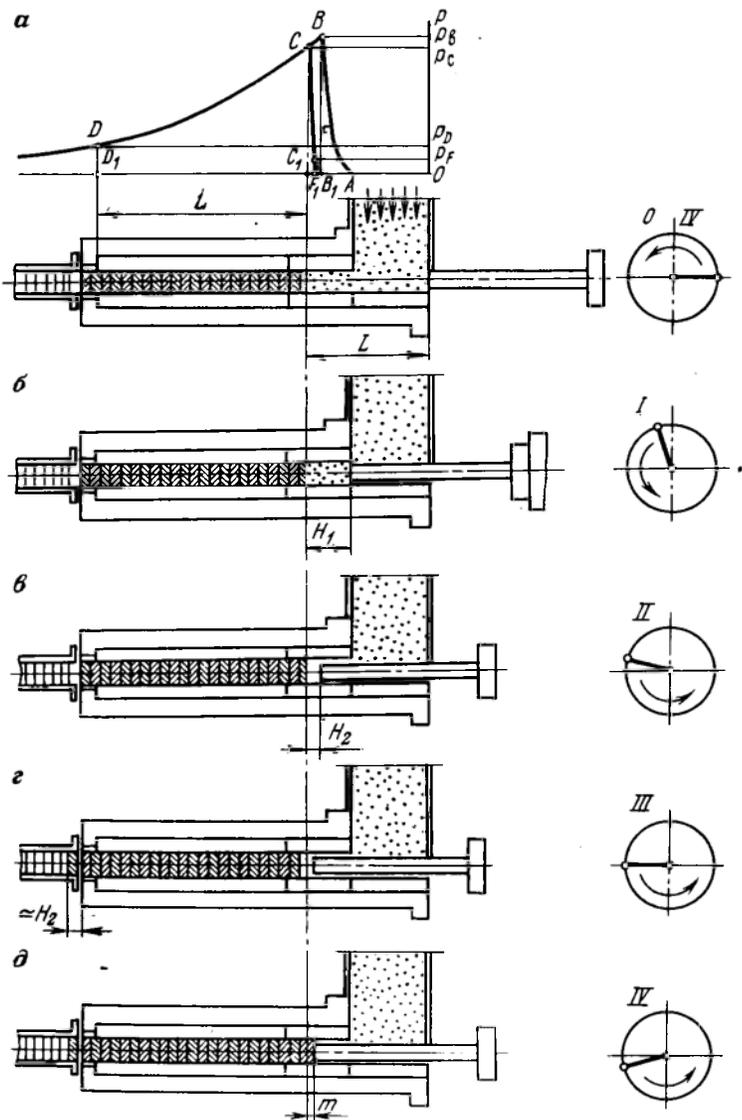


Рис. 3.18. Схема работы штемпельного пресса с диаграммой пресования

нальна затратам энергии A_1 на прессование угла

$$A_1 = S_1 m_p m_H, \quad (3.23)$$

где m_p и m_H — масштаб удельных давлений и перемещений штемпеля.

Проталкиванием брикетов в канале на величину $B_1 C_1 = H_2$ (см. рис. 3.18, *в* и *г*) завершается полный ход штемпеля вперед. При этом удельное давление на его торце падает по закону кривой BC (см. рис. 3.18, *б*) от p_n до p_c . Отношение наименьшего удельного давления, действующего на брикет, к наибольшему его значению характеризует *степень однородности брикета по плотности объемной массы*

$$S = p_c / p_n < 1. \quad (3.24)$$

Площадь диаграммы прессования S_2 , ограниченная кривой BC , ординатами BB_1 и CC_1 и абсциссой $C_1 B_1$, пропорциональна затратам энергии A_2 на проталкивание брикетов

$$A_2 = S_2 m_p m_H. \quad (3.25)$$

Заполнение прессуемым материалом пространства перед штемпелем совершается при холостом ходе штемпеля назад на отрезке пути $AO = L_1 - H_1$ (см. рис. 3.18, *а*).

При обратном перемещении штемпеля на отрезке $C_1 F_1 = m$ происходит аккумулялирование энергии упругого расширения группы брикетов. Удельное давление на торце штемпеля от точки C падает по линии CF . Остаточное давление, соответствующее моменту отрыва штемпеля от поверхности брикета, $p_F = FF_1$. Площадь S_3 диаграммы прессования $CC_1 FF_1 C$ (см. рис. 3.18, *д*) пропорциональна работе сил упругого расширения A_3 , энергия которого возвращается в систему привода штемпеля,

$$A_3 = S_3 m_p m_H. \quad (3.26)$$

Таким образом, *общий расход энергии* за один цикл работы штемпеля пресса

$$A_0 = A_1 + A_2 + A_3 = (S_1 + S_2 + S_3) m_p m_H. \quad (3.27)$$

Воздействие давления на брикет осуществляется многократно на всем пути его перемещения по матричному каналу. Это является одним из основных отличительных признаков схемы прессования с подвижным упором. Давление, действующее на брикет, изменяется по кривой CD в зависимости от положения брикета в канале и сопротивления перемещению, связанного с фазой движения штемпеля.

Процесс формирования брикетов зависит от формы и размеров элементов матричного канала (рис. 3.19), который разделяется на пять зон: загрузки l_3 , прессования l_n , прямого и обратного букеля l_6 , выдержки l_6 .

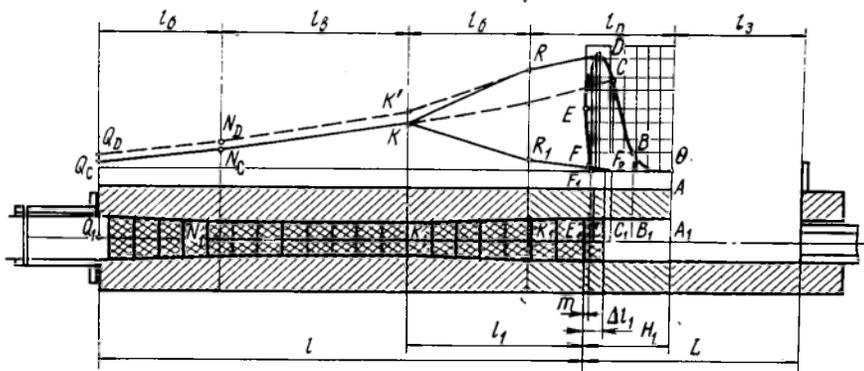


Рис. 3.19. Схема матричного канала с диаграммой прессования

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. Принято считать, что прямой букель не только обеспечивает дополнительное сопротивление канала, но и является регулирующим элементом при изменении основных качественных показателей сухого угля. 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.

Зона выдержки брикетов под давлением — призматическая часть канала. Она служит для стабилизации брикетобразующих 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.

С определенными допущениями характер изменения давления прессования по длине реального матричного канала с прямым и обратным букелями можно проследить по индикаторной диаграмме $ABCDEF F_1$ (см. рис. 3.19). На участке AB при сравнительно малых удельных давлениях газовая фаза (свободный воздух) отделяется, а также происходит частичное разрушение крупных частиц и агрегатов (криволинейная часть). Участок BC характеризуется интенсивным ростом давления прессования.

Здесь отмечаются упругая деформация каркаса вновь сформированного брикета и упругое сжатие группы брикетов в прямом букеле на величину Δl_1 . Со стороны упора удельное давление возрастает до величины, ограниченной кривой KC . Интенсивность приращения давления на каждый из последовательно расположенных брикетов по длине l_1 снижается по мере отделения их от торца штемпеля. Минимальное давление брикета испытывают в конце букеля (точка K). Далее давление сохраняется неизменным (кривая KQ_c). Брикеты на этом участке не испытывают повторного нагружения.

Точка K условно характеризует сечение матричного канала, в котором при отходе штемпеля назад и отсутствии подпора имеет место равновесие системы справа и слева. Нормальное удельное давление в сечении канала, отстоящем от точки F на расстоянии $l_1 + m$, для всей группы брикетов изменяется по кривой KRF . Отсюда, согласно уравнению (3.23),

$$p_K = p_F e^{a(l_1 + m)}, \quad (3.28)$$

где p_F — удельное давление на торце штемпеля в момент отрыва от брикета, МПа.

В результате действия нормального давления p в матричном канале создается боковое давление

$$p_b = J. \quad (3.29)$$

На участке CD начинается проталкивание брикетов в результате их деформации на отрезке l_1 . При этом со стороны упора давление прессования достигает максимального значения (кривая DRK).

Проталкивание всего подвижного упора вдоль матричного канала пресса происходит на завершающем этапе движения штемпеля вперед. Достижение максимального давления в точке D (при том, что $H_2 > DE_1$) свидетельствует о том, что проталкивание осуществляется в несколько этапов.

На первом этапе происходит упругое сжатие (через вновь образующийся брикет) передней части подвижного упора на величину Δl (участок BC). На втором этапе осуществляется дальнейшее сжатие и накопление энергии в группе брикетов на длине $l_1 + H_2$. Сжатие сопровождается переформированием каркаса брикетов (участок CD). На третьем этапе перемещаются весь подвижный упор в канале и брикеты в лотке. С началом «трогания» (максимальное давление в точке D) перемещение происходит под действием штемпеля и группы брикетов на участке l_1 , которые отдают накопленный избыток энергии. Отсюда изменяющийся характер падения давления на торце штемпеля в конце пути (участок диаграммы прессования DE).

По всей длине матричного канала за точкой R в результате преодоления силы трения покоя и инерции брикетной ленты в

лотке происходит некоторое повышение давления по кривой $RK'N_D Q_D$. Влияние сопротивления брикетов в лотке в основном проявляется на участках $l_6:l_b$ и l_6 . При движении штемпеля назад на участке l_1 происходит упругое расширение всей группы брикетов, которое продолжается и после отрыва штемпеля от брикета (в точке F_1). Суммарная его величина Δl_1 достигает 10—15% H_1 . Обратное перемещение штемпеля до момента отрыва его торца от поверхности брикета $m=6 \div 15$ мм.

Отрицательная особенность прессования в штемпельных прессах — многократность воздействия давления на брикет. Влияние этого параметра возрастает с повышением «мягкости» материала. Последняя может быть улучшена уменьшением скорости прессования, увеличением неоднородности распределения напряжений в брикете и улучшением пластических свойств угля. Наибольший эффект повторности воздействия нагружения имеет место в начале матричного канала (обычно за первые шесть — восемь циклов). При этом значительному повышению «мягкости» способствует поперечное обжатие брикетов в прямом букеле.

На работу штемпельного пресса влияют влажность и крупность угля. Существует известная зависимость давления прессования от содержания влаги, выполняющая роль наполнителя пор брикетов. Наиболее благоприятно действие влаги, когда доля ее в угле составляет 16—20% и она равномерно распределена по классам крупности. С увеличением содержания влаги сухого угля изменяется ее соотношение в крупных и мелких зернах.

При наложении давления прессования содержание влаги не выравнивается во всем объеме брикета. Устранить этот недостаток можно снижением давления прессования или уменьшением верхнего предела крупности угля до 2—3 мм. Такая мера позволяет уменьшить деформируемость угля и повысить плотность контакта брикетируемых зерен. В мелкозернистой шихте давление прессования распределяется равномерно, закономерно возрастает текучесть материала. Однако для брикетирования мелкого угля требуются повышенные усилия штемпельного пресса.

Штемпельный пресс работает эффективнее при удалении из угля воздуха. Воздух создает тонкую прослойку между прессуемыми угольными зернами и тем самым ослабляет прочность брикета. Для удаления воздуха из пресса предусматривается специальный сальник у входа в загрузочный канал.

Прочность брикетов повышается при охлаждении пресс-форм. Охлаждение приводит к возрастанию сопротивления и росту давления прессования.

Особое влияние на получение качественных брикетов оказывает *букель — короткий суживающийся участок в матричном канале.* Он служит для повышения сопротивления в матричном канале и деформации угля. Конфигурация букеля связана с

такими свойствами угля как сопротивление деформации, модуль упругости и пластичность. Форма букеля — один из решающих факторов, определяющих давление прессования и характер его колебаний. С увеличением высоты букеля возрастает сопротивление внутри матричного канала, повышается температура. Длина букеля определяет температуру в матричном канале, давление прессования, интенсивность охлаждения пресса.

Размеры букеля рекомендуется выбирать в зависимости от содержания мелких классов. Чем их больше, тем длинней и ниже должен быть букель. Для угля, обладающего сравнительно высокой твердостью, букель должен быть небольшой высоты и узким, а переход от него к выходной части — постепенным.

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%. 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%.

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.

Важное условие для получения качественных брикетов — точность расположения формовочных элементов. Рабочие формовочные детали пресса укладываются в определенной последовательности и закрепляются в головке пресса. Матричный канал набирается из верхних и нижних матриц и боковых планок. Эти детали должны быть совершенно прямыми и хорошо отшлифованы. Штемпель должен входить в матричный канал вплотную, с очень незначительным зазором. Глубина входа штемпеля в канал в зависимости от свойств угля, толщины брикета, гранулометрического состава угля составляет 75—95 мм. Такая степень проникновения штемпеля в канал обеспечивает наиболее полное предварительное уплотнение угля и удаление из него воздуха.

Для достижения требуемого давления прессования необходимо учитывать качество материала, из которого изготовлены формовочные детали. При брикетировании бурых углей с большим содержанием битумов применяют сталь с грубой структурой при интенсивном ее охлаждении. Качество брикетов зави-

сит от длины формовочного канала. Чем он длинней, тем дольше процесс прессования, тем мельче и тверже уголь в нем может брикетироваться. Длина канала находится в прямой зависимости от высоты бункера.

Необходимо постоянно следить за регулировкой нажимной плиты. Для чего рекомендуется гидравлическая система ее установки, позволяющая прессовой камере несколько изменять форму при соответствующем положении штемпеля. Это сдерживает развитие напряжений, превышающих предел упругости брикетов.

Производительность (т/ч) одноштемпельного пресса определяется по формуле

$$Q = 6 \cdot 10^5 F h \gamma_{бр} n, \quad (3.30)$$

где F — площадь ударной поверхности штемпеля, см²; h — толщина (высота) брикета, см; $\gamma_{бр}$ — объемная масса брикета, г/см³; n — частота вращения вала пресса, мин⁻¹.

Производительность (т/сут) прессового отделения определяется по следующему уравнению:

$$Q_{пр} = 1,44 z g n \eta, \quad (3.31)$$

где z — число штемпелей; g — масса одного брикета, кг; η — коэффициент использования прессов; $n = 60 \div 120$ мин⁻¹.

Масса (кг) брикета определяется взвешиванием или расчетом по формуле

$$g = \gamma_{бр} h F / 1000. \quad (3.32)$$

Коэффициент использования прессов

$$\eta = (100 - C) \frac{(1 - t_c / 24 t_p)}{100}, \quad (3.33)$$

где C — простой прессов в ремонте, % суточной производительности (для одноштемпельных прессов C принимается 6%); t_c — время, затрачиваемое на смену пресс-форм, ч (для двухштемпельных $t_c = 1,5 \div 2,5$ ч, четырехштемпельных — $t_c \approx 4$ ч); t_p — продолжительность работы пресс-форм, сут.

При замене пресс-форм машинным способом t_c сокращается в 4 раза. Продолжительность работы пресс-форм колеблется от 5 до 15 сут.

Прессование бурого угля может осуществляться в *кольцевом прессе*, где развиваются давления до 200—300 МПа. Такие большие усилия позволяют брикетировать не только молодые, но и плотные бурые угли. Прессование угля в кольцевом прессе имеет некоторое сходство с обжатием материала между двумя прессующими поверхностями. Одна поверхность выступает в качестве ведущей (прессовое кольцо), другая ведомой (прессующий диск). Обжатие угля в кольцевом прессе происходит в подвижном матричном канале. Высота канала в зоне обжатия уменьшается, а в зоне упругого расширения увеличивается. Ана-

логично изменяется удельное давление прессования. Максимального значения оно достигает на линии центров кольца и диска, т. е. там, где высота канала наименьшая. Благодаря тому, что матричный канал — прессовое кольцо — находится в постоянном движении, брикет не проталкивается по каналу, а отделяется специальным устройством при подходе кольца к верхнему положению. Поэтому в кольцевом прессе в отличие от штемпельного износ стенок канала практически незначительный.

На кольцевых прессах брикетируют уголь крупностью 0—1 мм, влажностью 7—8%. Брикетные получаются очень плотные, трудновозгораемые, атмосферонеустойчивые. Обычно брикетные, получаемые на кольцевых прессах, используются для специальных технологических нужд. Кольцевые прессы не нашли широкого применения на бурогольных брикетных фабриках в силу своей сложности, громоздкости, энергоемкости и сравнительно невысокой производительности.

3.2.5. Охлаждение и погрузка брикетов

Брикетные, выходящие из штемпельного прессы, имеют температуру 70—80° С на поверхности и 50—60° С внутри. Ее значения в зависимости от температуры высушенного продукта и условий прессования могут изменяться главным образом в сторону возрастания. Выходящие из прессы брикетные из-за наличия остаточной влаги и упругих последствий имеют низкую прочность. Они легко деформируются, разрушаются и склонны к самовозгоранию. Поэтому обязательная технологическая операция — охлаждение брикетных перед погрузкой, которое осуществляется на охлаждающих желобах, охлаждающих конвейерах или путем их комбинации.

Охлаждающие желоба, имеющие поперечное сечение, равное размеру брикетных (рис. 3.20, а), представляют собой систему из ряда металлических секций длиной 2,5—4 м. Они выполняются из полосовой или угольной стали. Первый желоб находится непосредственно в месте выхода брикета из матричного канала. Число желобов, устанавливаемых на один штемпель прессы, составляет от 3 до 10 и определяется не столько условиями охлаждения, сколько созданием усилий противодействия (подпора в устье канала прессы). По мере движения по желобу брикетные охлаждаются и в них происходит постоянное снятие внутренних напряжений. Брикетные приобретают прочные внутрискелетные связи.

Длина одного комплекта желобов составляет 60—80 м. При более длинных желобах затрудняется проталкивание по ним брикетных, что может привести к их разрушению.

Хорошее охлаждение достигается с помощью установки, позволяющей осуществлять непрерывное заполнение рядом расположенного желоба. Для этого используется короткий пере-

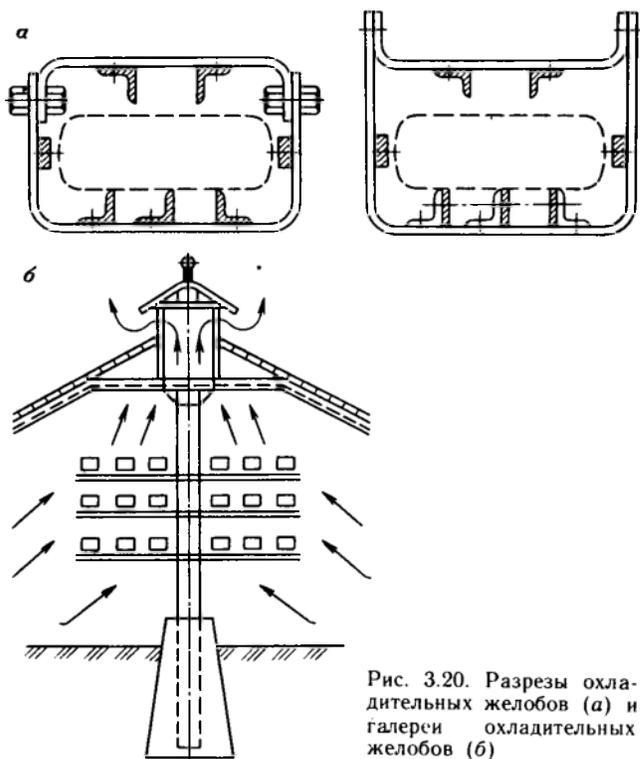


Рис. 3.20. Разрезы охлаждающих желобов (а) и галереи охлаждающих желобов (б)

ставной желоб, который по мере заполнения первого основного желоба заполняет второй и т. д. Желоба располагаются в несколько рядов под навесом (см. рис. 3.20, 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, ослабевают внутриструктурные 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 зна-

чительна 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.

Существуют системы охлаждения в желобах, которые расположены по окружности. По мере заполнения одного желоба специальное устройство автоматически переключает брикетную ленту на соседний желоб.

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.

Эффективность упрочения брикетов снижается на 25–30% по сравнению с охлаждением в желобах. Охлаждение брикетов на конвейерах дает удовлетворительные результаты при соблюдении оптимальной доли влаги высушенного продукта, при минимальной влагоразности и небольших размерах брикетов.

Практикой доказана целесообразность комбинированного метода охлаждения: в охлаждающих желобах, а на завершающей стадии в охлаждающих 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. Основные технологические особенности этой операции заключаются в обеспечении укладки брикетов в железнодорожные вагоны; организации минимального числа перепадов; оборудовании максимального числа

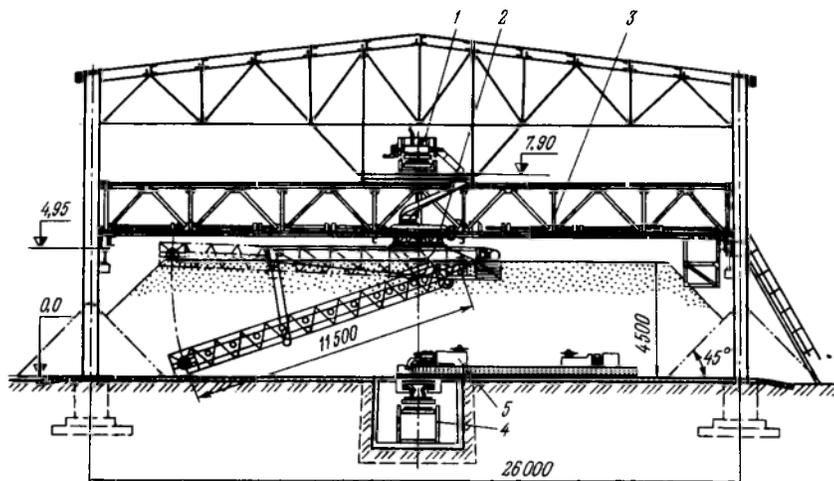


Рис. 3.21. Склад готовых брикетов

трактов отсева брикетной крошки на стационарных ситах и механических грохотах; создании транспортной системы передачи боя брикетов в цикл его переработки.

Укладка брикетов в железнодорожные вагоны выполняется с помощью установок 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.

Склад готовых брикетов (рис. 3.21) выполняется закрытым от атмосферных воздействий и пылевыведения. Крыша изготавливается из асбоцементного или листового шифера, а стенки из железобетонных плит. Внизу стены имеют уклон в 45° для лучшей выгрузки брикетов. Вверху склада по подвесной галерее движется конвейер 1 для загрузки брикетов. Разгрузка брикетов с конвейера осуществляется специальным сбрасывающим устройством, состоящим из передвижного погрузочного моста 3 и перегружателя 2. Выгрузка брикетов со склада осуществ-

ляется погрузочной машиной 5 через тоннель с конвейером 4. В момент загрузки склада отверстие тоннеля закрывается настилом. Благодаря способности перегружаться и перемещаться в вертикальном и радиальном направлениях склад загружается брикетом по всей длине и ширине послыбно. Общая высота штабеля брикетов достигает 5—6 м.

Особого внимания заслуживает вопрос защиты отгруженных брикетов от атмосферных воздействий. Для этого возможно применение тентов над вагонами или использование крытых железнодорожных вагонов. Хорошие результаты могут быть получены за счет поверхностного покрытия брикетов водонепроницаемой полимерной пленкой. Возможно применение технологии пропитки брикетов углеводородными эмульсиями, образующими плотный неслипающийся гидрофобный слой.

3.2.6. Буроугольная брикетная фабрика

Схема цепи аппаратов современной буроугольной брикетной фабрики показана на рис. 3.22. Поступающий на фабрику рядовой уголь разгружается из железнодорожных вагонов в приемный бункер 1 шелевидного типа. Наверху бункера на железнодорожном пути движется комкорыхлитель 2 для периодического разрушения непровалившихся через решетку комков угля. Внизу бункера установлены лопастные питатели 3, разгружающие уголь на конвейеры 4 и 5, транспортирующие его в дробильно-сортировочное (ДСО) отделение. Для удаления из угля металлических предметов установлены магнитные металлоуловители 6.

В ДСО уголь подвергается предварительному грохочению на валковом грохоте 7, надрешетный продукт которого дроблится в валковой дробилке 8. Далее уголь конвейером 9 и сбрасывателями 10 направляется на валково-дисковые грохоты 11. Подрешетный продукт этих грохотов (класс 0—6 мм) подается конвейерами 12 в сушильное отделение. Надрешетный продукт конвейером 13 направляется для дробления в молотковые дробилки 14 и затем на сушку. В сушильном отделении уголь распределяется конвейером 15 по бункерам 16, вместимость которых не превышает 6—8-часовой производительности сушилок.

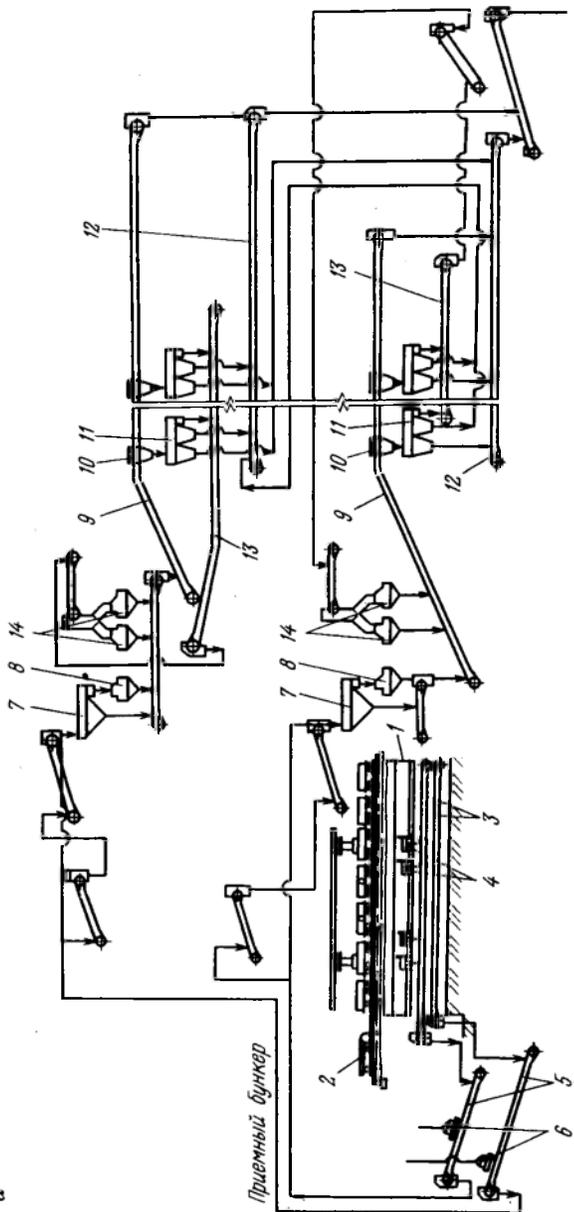
Из бункера 16 с помощью загрузочного устройства 17 разрыхленный уголь загружается в паровые трубчатые сушилки 18. Из загрузочной камеры 19 высушенный продукт поступает на охлаждение в конвейеры-охладители 20, оборудованные шлюзовыми затворами 21. Затем сухой уголь сборным конвейером 22 через шлюзовый затвор 23 и конвейер 24 направляется на грохоты 25 или на конвейер 26. Надрешетный продукт грохотов 25 дроблится в молотковых дробилках 27. Транспортные устройства для сухого угля устраиваются таким образом, чтобы уголь после сушилок можно было направить на контрольную обработку или на охлаждение, минуя контрольную обработку,

Рис. 3.22. Схема цепи аппаратов буроугольной брикетной фабрики:

I — основной поток угля и брикетов; II — паровоздушная смесь; III — производственная канализация

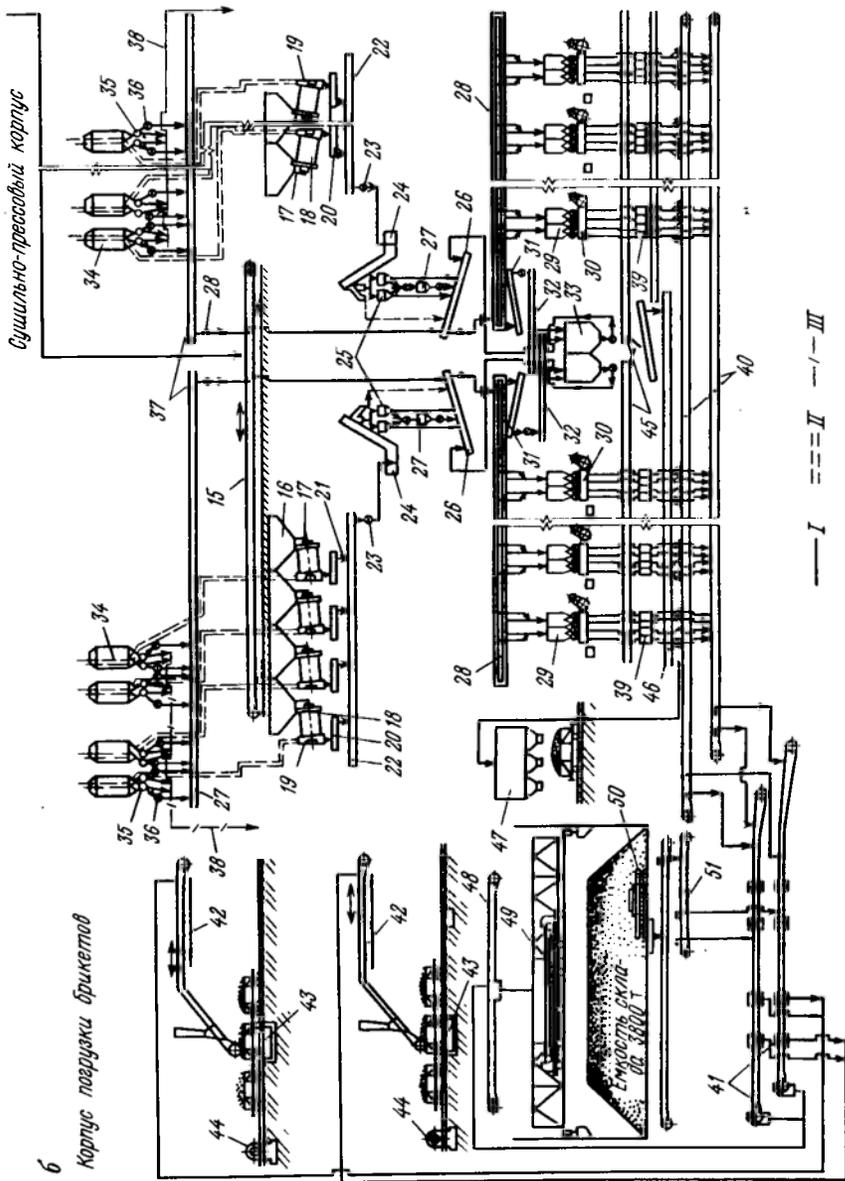
Дробильно-сортировочный цех

а



6

Корпус загрузки брикетов



или на прессование, минуя контрольную обработку и охлаждение.

Подготовленный к прессованию сухой уголь поступает на скребковый конвейер 28, который распределяет его по загрузочным бункерам 29 четырехштемпельных брикетных прессов 30. Избыток высушенного продукта конвейерами 31 и 32 направляется в бункера излишка 33. Эти бункера — буферные емкости для сглаживания неравномерности производительности сушильного и прессового отделений. Выходящие из прессов брикеты охлаждаются в желобах 39 и на ленточных конвейерах 40. Охлажденные брикеты перегрузочными конвейерами 41 передаются на погрузочные стрелы 42. Погрузка брикетов производится в железнодорожные вагоны, устанавливаемые на весах 43. Передвижение вагонов осуществляется с помощью маневровых устройств 44.

Образующийся при пуске и остановке прессов бой брикетов поступает на конвейеры 45, 46 и, соединившись с брикетной крошкой охладительных желобов, направляется в бункер боя 47. В случае перебоев в подаче на фабрику порожних железнодорожных вагонов брикеты конвейером 48 и перегружателем 49 направляются на склад. Выгрузка брикетов со склада производится разгрузочной машиной 50 и конвейером 51. Угольная пыль, увлекаемая паровоздушной смесью из сушилок и охладителей высушенного продукта, улавливается в электрофильтрах 34. Из последних она через трехходовые шиберы 35 и шлюзовые затворы 36 подается скребковыми конвейерами 37 в общий поток высушенного продукта. Шлам промывки электрофильтров направляется в шламовую канализацию 38.

3.2.7. Комбинированные методы брикетирования

Один из наиболее целесообразных методов брикетирования угля — комбинированное брикетирование смеси бурых и каменных углей. Получаемые брикеты отличаются низкой воспламеняемостью, высокой теплотой сгорания, небольшим выходом летучих веществ, сравнительно малой зольностью и высокой прочностью. Известна технология, по которой к буроугольному высушенному продукту, имеющему влажность 19—20%, добавляется каменноугольная мелочь крупностью 0—3 мм. Последняя до смешения с бурым углем высушивается в трубчатой паровой сушилке и нагревается до 80—100° С. Каменный уголь предварительно смешивают с жидким нефтесвязующим. Расход связующего составляет 1,5—5% в зависимости от соотношения каменного и бурого угля, которое изменяется от 1:3 до 3:1. После приготовления тщательно перемешанной каменно-буроугольной смеси она направляется для прессования в штемпельный пресс. Охлаждение брикетов осуществляется в желобах. Механическая прочность брикетов на истирание составляет 80—90% (несколь-

ко ниже, если используется антрацитовый штыб), теплота сгорания около 21 МДж/кг, КПД печи — 79%.

Хорошие механические и теплотехнические показатели можно достичь комбинированным брикетированием бурых углей и торфа. Этот метод позволяет более эффективно сжигать торф, упрочить структуру буроугольного брикета и снизить его зольность. КПД печи при сжигании таких брикетов достигает 82—83%. Для улучшения воспламеняемости буроугольных брикетов рекомендуется присадка к угольной смеси древесных опилок.

Представляет интерес использование бурого угля как углеродистого восстановителя при брикетировании железных руд. Для этого железную руду после обработки нефтесвязующим (3%) смешивают с буроугольным высушенным продуктом (10—15%) влажностью 17—18%. Смесь прессуют в штемпельных прессах. Брикеты охлаждают в желобах и на охлаждающем конвейере. Прочность брикетов на истирание составляет около 90%. Брикетируют марганцевый концентрат с бурым углем в соотношении 3:1 без добавки связующих веществ при давлении прессования 100 МПа. Прочность брикетов на истирание составляет 86%. Рудобуроугольные брикеты обладают высокой термостойкостью. Металлургическая плавка после их термообработки при 600°С без доступа воздуха дает удовлетворительные результаты. Этот метод эффективен для утилизации рудной мелочи и пыли.

3.3. ТЕХНОЛОГИЯ БРИКЕТИРОВАНИЯ ТОРФА

3.3.1. Требования к торфяным брикетам

Технологический процесс брикетирования торфа определяется требованиями ГОСТ на брикеты. Топливные торфяные брикеты изготавливают в виде призм длиной 150—180 мм, шириной 70—74 мм и высотой (толщиной) 20—60 мм. Торфяные брикеты по показателям качества должны соответствовать следующим нормам:

Массовая доля общей влаги, %	14—16
Зольность, %	До 15
	(иногда 20)
Массовая доля мелочи (куски размером менее 25 мм), %	До 6
Механическая прочность при испытании в барабане (остаток целых и частично разрушенных брикетов с размерами кусков более 25 мм), %, не менее	94
Влагоемкость (после 30-минутного пребывания в воде при $t = 20^{\circ}\text{C}$), %, не более	30—50
Теплота сгорания, МДж/кг, не менее	16

3.3.2. Подготовка торфа к брикетированию

Технология подготовки торфа к брикетированию начинается с процесса добычи. Обычно выемку торфа ведут тремя последо-

вательными операциями. Вначале фрезеруют торфяную залежь на глубину 8—22 м. Доля влаги в свежедобытом торфе обычно составляет 70—80%. Затем сушат добытый слой материала до содержания влаги 40—50% путем ворошения и валкования. На третьем этапе готовое сырье укладывают в штабеля для хранения и передачи на торфобрикетный завод. Продолжительность указанных операций составляет один-два дня.

Дальнейший этап переработки торфа сводится к его подготовке для сушки. В технологическом отношении он также делится на несколько операций. Первоначально на решетках приемных бункеров отделяют случайно попавшие в торф куски древесины и пни. Для стабилизации сырья по содержанию влаги, зольности и плотности насыпной массы различные сорта торфов шихтуются. Эта операция производится из бункеров или с помощью механизированных усредняющих установок.

Гранулометрический состав сырья регулируется дроблением и рассевом торфа на грохотах или пневмосепарацией в сушилках. Для дробления применяют бесколосниковые молотковые дробилки с шарнирно подвешенными молотками (МД и ИМТ) или неподвижными ножами (МДН). Рассев торфа осуществляется на вибрационных (ГУП, ГЖ, ГИЛ) и барабанных (ГБ) грохотах с отверстием сит 6—8 мм, иногда 15 мм.

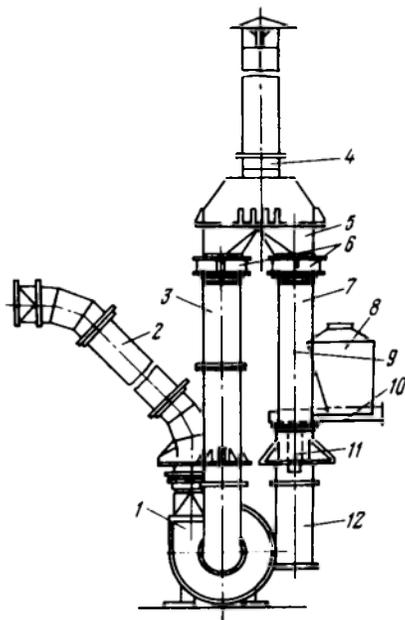
Торф сушат в установках с различными конструктивными решениями и теплоносителями. Среди наиболее распространенных сушилок — пневмопароводяная, пневмогазовая с мелющим вентилятором, пневмосепарационная, шахтно-мельничная.

Пневмопароводяная сушилка состоит из пяти сушильных корпусов, пяти циклонов, теплообменника, скруббера с воздухоподогревателем, двух вентиляторов и системы пылеулавливающей аппаратуры. В качестве теплоносителя для первых двух сушильных корпусов используется горячая вода, а для трех последних — насыщенный пар. Сушильным агентом во всех пяти корпусах служит воздух, нагнетаемый вентиляторами. Сушильный корпус — это цилиндрический барабан высотой 12—15 м с вальцованными в него сушильными трубками диаметром 51 и 72 мм. Скорость воздуха в трубках первых двух корпусов составляет 8 м/с, во вторых трех — 11—15 м/с. Производительность двух наиболее распространенных видов пневмопаровоздушных сушилок по испаренной влаге составляет 8,5 и 22 т/ч.

Пневмогазовые сушильные установки с мелющим вентилятором (рис. 3.23) применяют для брикетных заводов мощностью 10; 30 и 60 тыс. т. Мелющий вентилятор служит для транспорта торфогазовой смеси (соотношение Т:Г=1:1) и измельчения крупных фракций. В нем практически завершается сушка торфа. Принцип работы сушилки близок к работе газовой трубы-сушилки. Производительность рассматриваемой сушилки по сухому продукту ($W^{dul}=12\%$) при исходной влажности торфа 50%

Рис. 3.23. Схема пневмогазовой сушилки с мелющим вентилятором:

1 — мелющий вентилятор; 2 — наклонная ветвь газохода; 3 — нисходящая труба; 4 — выхлопная труба со взрывным клапаном; 5 — поворотное колено, соединяющее восходящую и нисходящую трубы; 6 — температурные компенсаторы; 7 — восходящая труба; 8 — бункер исходного торфа; 9 — форсунка для противоаварийного впрыскивания воды; 10 — шнековый питатель для загрузки исходного торфа в сушилку; 11 — загрузочное отверстие цоколя; 12 — нижняя часть восходящей трубы — цоколь из жаростойкого чугуна



составляет соответственно для каждого из вышеприведенных типов заводов — 1,55; 4,64 и 9,27 т/ч.

Пневмосепарационная сушилка отличается от сушильных установок других типов способностью перерабатывать торф без предварительного дробления и классификации. Сушилка оборудована пневматическим сепаратором, в котором торф разделяется на две части. Одна часть — это подсушенные крупные зерна. Они служат топливом для топки сушилки. Вторая часть — мелкий и сухой торф, идущий на брикетирование. В целом этот аппарат является полным подобием трубы-сушилки. Ее производительность при долях влаги торфа до 55% и высушенного продукта 12% составляет по испаренной влаге 4,5 т/ч.

Шахтно-мельничная сушилка — одна из разновидностей пневмогазовых сушилок, в которой сушка торфа совмещена с его дроблением. Она состоит из подсушивающего рукава, шахтной мельницы, сепаратора, системы сухого и мокрого пылеулавливания и вентилятора. Скорость сушильного агента в подсушивающем рукаве 15—17 м/с. Последний представляет собой газоход прямоугольного сечения из огнеупорного кирпича. В данной установке используются серийные шахтные мельницы типа ШМТ. Производительность сушилки по исходному и высушенному торфу соответственно 4—8 и 2,2—4,4 т/ч. Шахтно-мельничная сушилка допускает переработку торфа с долей влаги до 60%

и крупностью до 50 мм. Коэффициент измельчения торфа в ней 4,3—6,7.

Отличительная особенность перечисленных типов сушилок — возможность достижения небольшой влагоразности между крупными и мелкими частицами высушенного продукта. Для различных сушилок она колеблется в пределах 3—6%. Подробней о значении и влиянии влагоразности в процессе брикетирования изложено в разд. 2.3.2 и 3.2.2.

3.3.3. Прессование торфа

Прессование торфа осуществляют в штемпельных прессах. Закономерности этого процесса подробно рассмотрены в разд. 3.2.4. Здесь же приводятся лишь факторы, влияющие на прессование торфа. Основными параметрами процесса являются давление, продолжительность и скорость приложения давления, число нагружений, температура высушенного продукта и степень нагрева формирующих элементов пресса.

Давление оказывает решающее влияние на прочность торфяных брикетов. С повышением его до определенного значения прочность брикетов повышается. Дальнейший рост давления прессования приводит к падению прочности структурного каркаса брикетов за счет так называемой «перепрессовки» материала. Оптимальным давлением для получения прочных брикетов при доле влаги высушенного продукта 18 и 11% являются значения, близкие к 70 и 90 МПа. Варьируя в указанных пределах влажностью, можно выбрать наиболее целесообразное давление прессования, отвечающее максимальной прочности конкретного вида торфа. В качестве критерия для установления оптимальной влажности принята сорбционная способность торфа. Она характеризует устойчивость брикетов при хранении. Брикеты сохраняют свою прочность длительное время при влажности прессуемого торфа, близкой к равновесной.

При этом важное значение имеет вид влаги. Большая доля адсорбционной влаги в процессе прессования способствует значительному упрочению брикетов. Предел содержания адсорбционной влаги соответствует максимальной прочности брикетов. Последнее можно фиксировать появлением на поверхности брикетов свободной воды. Этот признак характеризует начало капиллярной конденсации. Эффективность прессования возрастает с увеличением в высушенном продукте адсорбционной влаги.

Свободная влага в процессе прессования выполняет пластифицирующую функцию, играет роль внутренней и внешней смазки. Наличие свободной влаги всегда приводит к падению давления. Уменьшаются силы молекулярного сцепления частиц, расстояния между ними возрастают из-за увеличения толщины водных пленок. Повышается отрицательная роль их расклинивающего действия. Брикеты отличаются низкой прочностью.

Особенно пагубно на прессовании сказывается влагоразность между крупными и мелкими частицами торфа. Чем она выше, тем более высокие требуются усилия.

На давление прессования влияют степень разложения торфа и его гранулометрический состав. Оба эти фактора тесно связаны с изменением модуля упругости, т. е. соотношением пластических и упругих деформаций. С понижением степени разложения торфа модуль упругости падает. При прессовании преобладают пластические деформации. Повышается молекулярный контакт между частицами. Наблюдается их «свойлачивание» (механическое переплетение). Для торфов со степенью разложения 15—20% давление прессования не должно превышать 50—60 МПа. Для торфа с высокой степенью разложения и повышенным модулем упругости давление прессования необходимо создавать не менее 80—120 МПа в зависимости от характера проявления упругих и хрупких деформаций.

Гранулометрический состав оказывает влияние на коэффициент трения брикетов о стенки матричного канала пресса. Чем тоньше материал, тем ниже этот показатель, меньше затрачивается усилий на прессование. Так, например, с изменением крупности от 0—5 до 0—0,074 мм коэффициент трения снижается почти в 2 раза.

Однако брикетирование тонкоизмельченного торфа чревато значительными потерями в процессе измельчения и транспортирования. Усложняется система пылеулавливания. В каждом отдельном случае при выборе гранулометрического состава следует увязывать факторы потерь торфа и усилий прессования.

Прочность брикетов зависит от скорости прессования, т. е. линейного перемещения штемпеля в единицу времени. Скорость прессования определяет производительность пресса. С ее ростом увеличивается выработка брикетов. Однако при большой скорости прессования невозможно полностью удалить из брикетов спрессованный в нем воздух. Воздух в торфе находится в свободном состоянии между частицами и в сорбированном на их поверхности. Объем свободного воздуха зависит от плотности и пористости торфа. Наличие сорбированного воздуха обусловлено содержанием влаги, температурой и физико-химическими свойствами материала. Последний может составлять 20—25% объема воздуха в свободном состоянии.

Удаление воздуха из высушенного продукта при прессовании является обязательной технологической операцией. Недостаточно эффективный отвод воздуха из матричного канала повышает упругое расширение брикетов и снижает их прочность. Степень удаления воздуха при прессовании находится в обратной зависимости от скорости движения штемпеля. Она повышается благодаря вакуумированию или обработке высушенного продукта перегретым паром.

Влияние начальной температуры высушенного торфа на процесс прессования неоднозначно. Оно зависит от степени разложения торфа, его пластических свойств. При степени разложения торфа до 30—35% температура высушенного продукта от 40 до 90° С не влияет на прочность брикетов. Более высокая степень разложения при указанной начальной температуре способствует росту пластических деформаций и упрочению брикетов. Однако повышение температуры (более 60—70° С) отрицательно сказывается на влагопоглощении готовых брикетов.

В результате прилагаемых усилий прессования и скорости движения штемпеля происходит нагрев матричного канала. Нормальные брикеты по прочности получаются, когда температура прямого букеля составляет 150—200° С. При этой температуре идет активный процесс термического разложения поверхностного слоя брикетов. Образуется глянцевая пленка, которая прочно связывается с основной массой брикета. При более высоких температурах пленка отслаивается и брикет становится легко насыщаемый влагой. Прессование торфа при температурах ниже 100—120° С сопровождается большим увеличением сил трения и затрат энергии.

На прессование влияют конструктивные параметры пресса. Прежде всего прямой и обратный букель. Прямой букель — сужающаяся часть матричного канала, где осуществляется поперечное обжатие торфа. Обратный букель — расширяющийся участок, расположенный в конце матричного канала. Он выполняет функцию постепенного и равномерного снятия напряжения в брикете. В прямом букеле важное значение имеют его габариты и форма. Оптимальный по размеру и форме букель во многом зависит от пластических свойств торфа, продолжительности прессования, но не зависит от доли влаги в высушенном продукте. Влияние формы букеля сказывается прежде всего на энергозатратах. Они минимальны у выпуклой формы букеля.

Уплотняемость брикетов зависит также от длины матричного канала. Последняя определяет повторность нагружения, т. е. многократность приложения давления прессования. Повторность нагружения благоприятствует упрочению брикетов, так как в них происходит накопление полезных необратимых деформаций. Возрастает доля пластических деформаций за счет снижения форм упругих деформаций. В целом повторность нагружения можно рассматривать как фактор снижения скорости прессования, способствующий упрочению брикетов.

3.3.4. Охлаждение, складирование и погрузка брикетов

Торфяные брикеты выходят из штемпельного пресса с температурой 100—120° С. Для их охлаждения используют охлаждающие лотки (см. разд. 3.2.5). Как правило, охлаждение брикетов

в лотках не оканчивается. Завершение этого процесса и полное упрочение брикетов осуществляются на складе.

Охладительные лотки на торфобрикетных заводах собираются из отдельных секций. Устанавливаются горизонтально или с плавным наклоном под углом 3—4°. Секции охлаждающих лотков бывают двух видов: тяжелые и облегченные. Первые присоединяются по две-три штуки непосредственно к прессу. Облегченные — на остальном участке. Сечение лотка должно быть таким, чтобы не допустить изгиба брикетной ленты и раздавливания брикетов. Бой брикетов из-под лотков собирается ленточным конвейером.

Первая секция лотка, примыкающая к прессу, оборудуется ломателем брикетной ленты. Этот механизм, изображенный на рис. 3.24, используется при запуске пресса и в аварийной ситуации. Во время нормальной работы пресса ломатель отключен. Действие ломателя сводится к выдавливанию брикетной ленты нажимным элементом, включаемым вручную или автоматически. При повороте рукоятки вручную нажимной элемент входит в брикетную ленту. Одновременно раскрывается клапан с пластинами. В дне лотка образуется щель. Дальнейшим поворотом нажимного элемента в это отверстие выдавливаются брикеты. Выключение ломателя производится вручную.

Для брикетов из торфов различной степени разложения и видов длина охлаждающих лотков составляет 70—100 м.

Склад торфобрикетного завода предназначен для доохлаждения, хранения и отгрузки брикетов. Исходя из условий требуемого времени пребывания брикетов на складе рассчитывается его вместимость. Установлено, что для полного охлаждения брикетов во всем объеме необходимо 8—11 ч, для упрочения до требуемых кондиций — 20—24 ч. Таким образом, готовые брикеты могут отгружаться не ранее, чем через сутки его пребывания на складе.

Склад брикетов обязательно должен быть защищен от атмосферных осадков и грунтовых вод. Это обусловлено чрезмерно высоким поглощением воды торфяными брикетами, выходящими из пресса. После двухчасового намокания в воде механическая прочность брикетов падает на 40—60%, иногда они вообще разрушаются. При хранении брикетов на складе доля влаги в них достигает равновесной влажности. При этом увеличиваются объем и масса брикетов, падает прочность. Особенно сильно это проявляется при начальной доле влаги брикетов более 12—13%.

Брикеты размещаются на складе в бункерах, штабелях, контейнерах или в кипах на поддонах. Первые два метода наиболее распространены на действующих заводах. Однако контейнерная и киповая форма складирования более совершенна. Снижается до минимума крошимость брикетов.

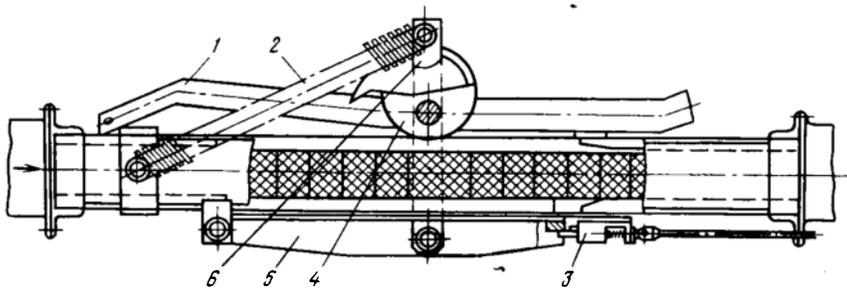


Рис. 3.24. Схема ломателя брикетной крошки:

1 — рукоятка; 2 — пружина; 3 — фиксатор клапана; 4 — нажимной элемент; 5 — клапан; 6 — соединительные пластины

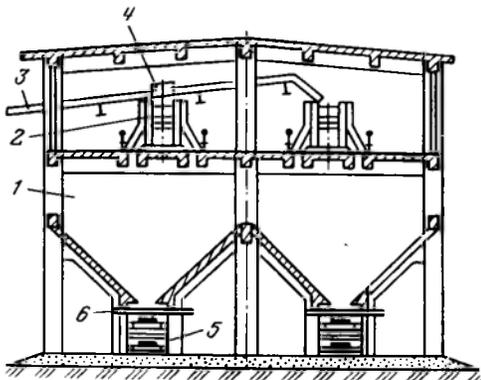


Рис. 3.25. Схема поперечного разреза закрытого склада брикетов бункерного типа

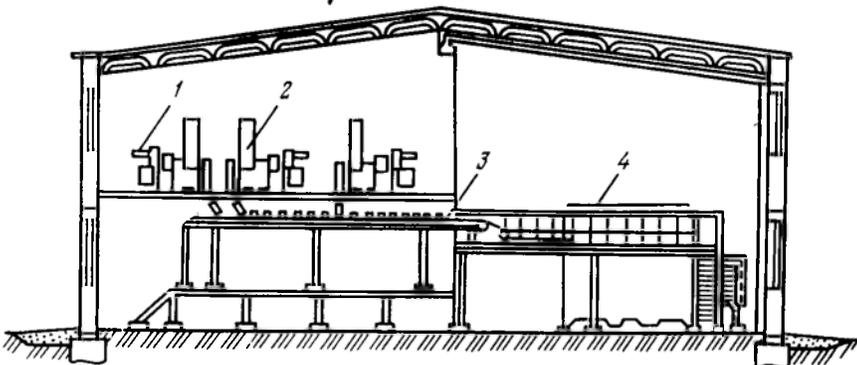


Рис. 3.26. Схема поперечного разреза склада для хранения брикета в кипах на поддонах

Типовой склад торфобрикетного завода средней мощности с бункерной укладкой брикетов показан на рис. 3.25. Он представляет собою закрытое сооружение с двумя параллельными рядами бункеров 1 с донным настилом из досок 6. Над и под бункерами установлены ленточные конвейеры 2 и 5, обеспечивающие загрузку и выгрузку брикетов. Конвейеры 2 загружаются с охлаждательных лотков 3 с помощью ломателей 4. Загрузка в бункера осуществляется с помощью плунжерного сбрасывателя через направляющий рукав. Сбрасыватель движется вдоль бункеров, начиная с торца бункера. Высота падения брикетов в начале загрузки бункера 1,5—2 м. В дальнейшем брикеты заполняют бункер, перемещаясь по образовавшемуся откосу. Это снижает разгрузку загружаемых брикетов. Брикеты выгружаются из бункера на ленточный конвейер через отверстие в настиле. Оно образуется постепенной передвижкой вручную досок. Выгрузка бункеров может быть механизирована установкой под бункером питателя, заменяющего донный настил. Производительность описываемого склада составляет 40 т/ч при полезной вместимости бункеров 1200 т.

Штабельные склады по своему конструктивному исполнению ничем не отличаются от буроугольных брикетных складов, описанных в разд. 3.2.5. Их производительность составляет 30—75 т/ч.

Складирование брикетов в контейнерах с нижней боковой разгрузкой позволяет осуществить комплексную механизацию погрузки, выгрузки и доставки брикетов потребителю. Контейнеры обеспечивают хорошее охлаждение брикетов, гарантируют сохранность его качества и товарного вида. Использование контейнеров сокращает строительные объемы склада за счет более компактной укладки брикетов. Обычно используются контейнеры вместимостью 1—2 т, иногда 3 т.

Складирование брикетов в кипах на поддонах позволяет исключить разрушение брикетов при транспорте их на склад, заполнении его и погрузке потребителю. Повышается выход товарной продукции. Такой склад состоит из двух отделений. Первое отделение (рис. 3.26) отапливается. В нем размещены технологические линии упаковки 1 с обвязочными машинами 2, сборный ленточный конвейер 3, машина по укладке кип на поддоны и рольганг 4, передающий поддоны в электрокары. Во втором отделении хранятся кипы на поддонах и осуществляется их погрузка потребителю. Размеры поддонов 800×1200 мм грузоподъемностью 1 т. Загруженные поддоны устанавливаются в пять рядов.

Склады с кипованием целесообразны, если влажность брикетов не превышает 12—14%. В этом случае плотность упаковки кип не нарушается.

3.3.5. Торфобрикетный завод

Основными производственными цехами торфобрикетного завода (ТБЗ) являются дробильно-сортировочное отделение с приемными устройствами, сушильный, прессовый и склад брикетов с погрузочными устройствами. В отечественной практике классификация заводов осуществляется по способу сушки торфа. По этому признаку заводы делят на семь основных групп. Наиболее распространенной считается группа заводов с пневмопароводяными сушилками. Далее заводы с сушилками с пневмогазовыми и мелющим вентилятором, с шахтно-мельничными, паровыми трубчатыми, пневмогазовыми трубами-сушилками, парогазовыми и пневмосепарационными.

Схема цепи аппаратов торфобрикетного завода с пневмопароводяной сушилкой приведена на рис. 3.27. Исходный торф из вагонов 1 разгружается в бункера 2. Из бункеров торф пластинчатыми питателями 3 поступает на ленточный конвейер 4, оборудованный железоотделителем 5. Распределительным конвейером 6 с плужковым сбрасывателем торф подается в дробилки 8. Дробленый продукт скребковым (или винтовым) конвейером 11 с помощью лопастных питателей 10 поступает на грохоты 12. Подрешетный продукт грохотов скребковым конвейером 15 направляется на сушку. Надрешетный может поступать через конвейер 14 и элеватор 13 в котельную либо конвейером 9 возвращаться на операцию подготовки торфа. Для обеспечения в

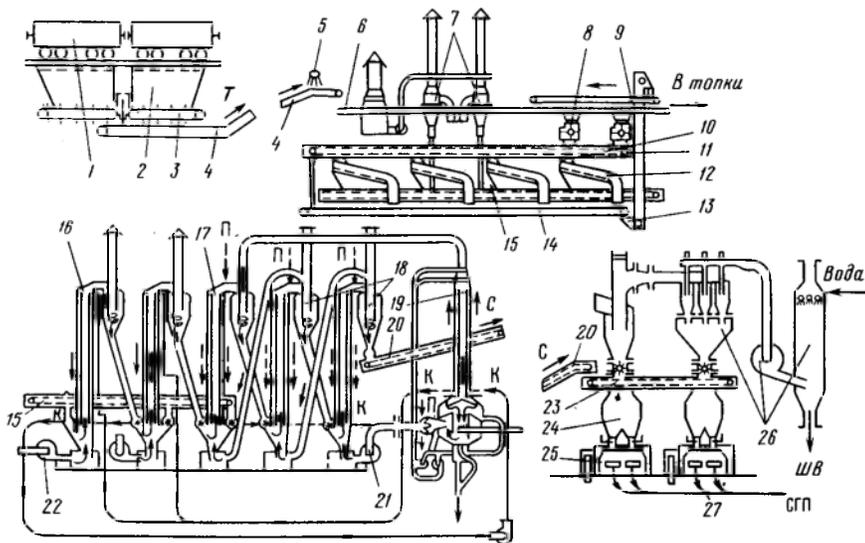


Рис. 3.27. Технологическая схема торфобрикетного завода с пневмопароводяной сушилкой

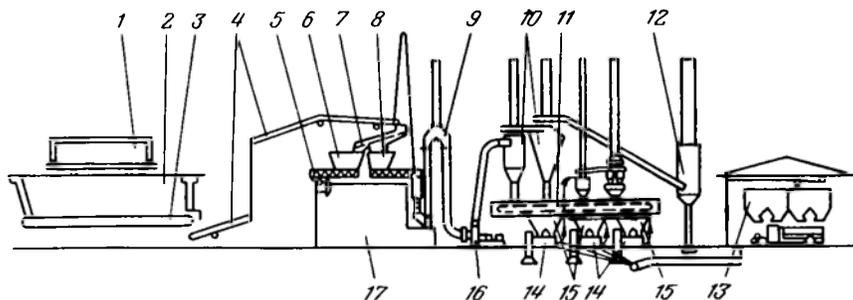


Рис. 3.28. Технологическая схема торфобрикетного завода с пневмогазовой сушилкой и мелющим вентилятором

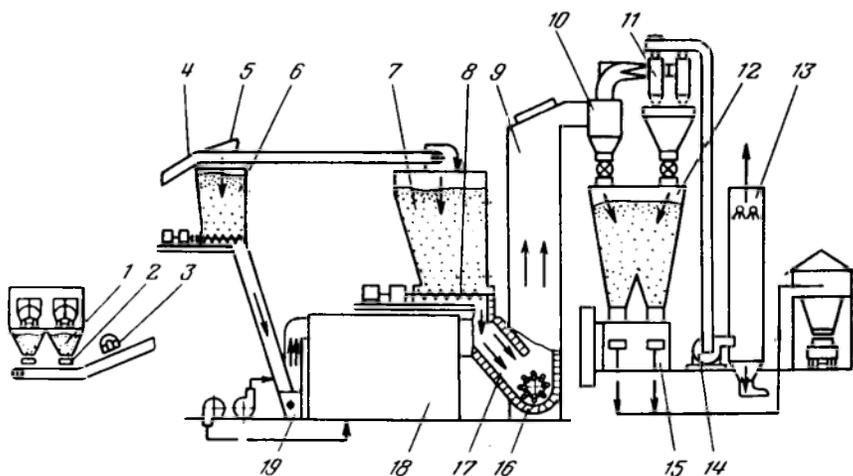


Рис. 3.29. Технологическая схема торфобрикетного завода с шахтно-мельничной сушилкой:

1 - бункер привозного торфа; 2 - питатель; 3 - электромагнит; 4 - конвейер; 5 - сбрасывающий нож; 6 - бункер топлива для топки; 7 - бункер сырого торфа; 8 - винтовой питатель; 9 - шахта сухого торфа; 10, 11 - сухие пылеуловители; 12 - бункер сухого торфа; 13 - мокрый пылеуловитель; 14 - дымосос; 15 - штемпельный пресс; 16 - забрасыватель провала; 17 - газоход; 18 - топка; 19 - шахтная мельница

этой операции требуемых санитарно-гигиенических условий труда устанавливается индивидуальная система газоочистки 7.

Сушка торфа ведется путем последовательного обезвоживания в пяти сушильных отделениях: в первых двух 16 испарение влаги осуществляется за счет тепла горячей воды, в трех последующих 17 теплоносителем служит пар. Движение торфа в сушильках осуществляется воздушными потоками: в первых двух — двумя вентиляторами 22, в трех последующих — одним вентилятором 21. Тонкие частицы торфа из воздушного потока улав-

ливаются в циклоне 18. Часть тепла, затраченного на испарение влаги из торфа в трех последних сушилках, повторно используется в первых двух. В качестве теплообменного аппарата служит скруббер 19. Сухой торф скребковым конвейером 20 направляется в прессовое отделение. Здесь он конвейером 23 распределяется по бункерам 24, питающим пресс 25. Пыль прессов и систем транспортирования в этом отделении улавливается индивидуальной системой обеспыливания 26. Готовые брикеты с прессов поступают на охладительные лотки 27. С лотков брикет транспортируется на склад готовой продукции.

Завод с пневмогазовой сушилкой и мелющим вентилятором отличается упрощенной схемой торфоподготовки. Его технологический комплекс (рис. 3.28) включает операцию по доставке торфа в вагонах 1, выгрузке его в приемные бункера 2 и отправке с помощью питателя 3 и конвейера 4 в сушильное отделение. Здесь перед сушилкой установлен грохот 7. Торф крупностью более 25 мм через бункер 6 подается в топку 17. Подрешетный продукт поступает в бункер 8, а из него питателем 5 в сушилку 9. Торф перемещается в сушилке за счет разрежения, создаваемого мелющим вентилятором 16. Осаждение сухого торфа из воздушного потока происходит в двухступенчатой системе циклонов 10. Из них сухой торф скребковым конвейером 11 поступает в бункера 15, из которых направляется на пресса 14. Газы очищаются в скрубберах 12. Брикеты по охладительным лоткам с помощью ленточных конвейеров передаются на склад готовых брикетов 13.

Технологическая схема ТБЗ в шахтно-мельничной сушилкой (рис. 3.29) позволяет совместить сушку с процессами измельчения и классификации. ТБЗ с паровой трубчатой сушилкой в технологическом отношении аналогичны вышеописанным заводам.

3.3.6. Расчет технологических показателей торфобрикетного завода

Время работы ТБЗ в году составляет, согласно действующим нормам, 318 дней при 7200 ч и трехсменной работе в сутки. Остальные дни года распределяются следующим образом: капитальный ремонт оборудования составляет 25 дн., планово-профилактические ремонты — 14 дн.; общегосударственные праздники — 8 дн.

Производительность ТБЗ определяется по удельному расходу торфа на 1 т брикетов:

$$g_{\text{бр}} = g_6 + g_7 + g_n, \quad (3.34)$$

где g_6 — чистый расход торфа для получения 1 т брикетов, т; g_7 — расход торфа на топливо для получения сушильного агента в расчете на 1 т брикетов, т; g_n — потери торфа в процессе

переработки в сушильном тракте, при прессовании и складировании, т:

$$g_0 = \frac{100 - W_{6p}}{100 - W_n}, \quad (3.35)$$

где W_n — начальная доля влаги в торфе, %; W_{6p} — доля влаги в брикетах, %;

$$g_r = \frac{10^3 g}{Q'_n(100 - W_{6p}) / (100 - W_n - 1)}, \quad (3.36)$$

где g — удельный расход теплоты на испарение 1 кг влаги, кДж/кг; Q'_n — низшая рабочая теплота сгорания топлива, кДж/кг.

Потери торфа при производстве брикетов составляют: на участке подготовки к сушке 0,1%; в сушильной установке — 3,5%; при прессовании 1%; в процессе складирования и отгрузки 0,5%.

Часовая выработка (т/ч) брикетов

$$Q_{\text{час}} = Q_{\text{год}} / 7200, \quad (3.37)$$

где $Q_{\text{год}}$ — производственная мощность ТБЗ, т/год.

Часовая производительность по валовой продукции $Q_{в.п.}$ рассчитывается по величине $Q_{\text{час}}$ с учетом потерь при складировании и отгрузке. Производительность прессового отделения $Q_{\text{пр}}$ приравнивается к $Q_{в.п.}$ Производительность сушильного отделения $Q_{\text{суш}}$ рассчитывается по величине $Q_{\text{пр}}$ с учетом потерь при сушке и прессовании.

3.4. ТЕХНОЛОГИЯ БРИКЕТИРОВАНИЯ РУД

3.4.1. Требования к рудным брикетам

Брикетиrowание каждой руды имеет свою специфику, требует применения того или иного связующего, введения шихтовочных добавок. Режимные параметры окускования руд диктуются требованиями, предъявляемыми металлургическим процессом к брикетам.

Основными регламентирующими параметрами рудных брикетов являются механическая и термическая прочность, атмосферостойчивость, пористость и плотность. В то же время каждый металлургический процесс предъявляет дополнительные требования к брикетам. В железорудных брикетах для доменной плавки содержание железа в буром железняке должно быть 40—45%, гематите, мартите и магнетите — 55—60%; содержание серы не должно превышать 0,2—0,25%, фосфора 0,01—0,03%, мышьяка и цинка по 0,02%. В брикетах для мартеновской плавки содержание железа составляет 62—64%, кремнезема 6—8%, прочих шлакообразующих компонентов до 3%, фосфора и серы

0,03%, влаги 2%. Прочность железорудных брикетов на сжатие и сбрасывание не должна быть ниже соответственно 15—25 МПа и 85—90%, пористость должна составлять 5—10%, плотность — 4200—4600 кг/м³. Брикеты считаются прочными, если они сохраняют целостность при 1500° С в течение 3 мин. Наиболее рациональными считаются размеры брикетов 40—45×20—25×50—60 мм.

При электроплавке брикетов из хромистого железняка на феррохром в них должно содержаться оксида хрома не менее 40%. Отношение ее к оксиду железа (II) должно быть не ниже 2,5. Следует строго соблюдать соотношение SiO₂, MgO, Al₂O₃. Не допускается присутствие в брикетах серы и фосфора. Прочность на сбрасывание — 99%.

Для брикетов из никелевых руд прочность на сжатие и сбрасывание составляет соответственно до 5 МПа и 75—80%. Термостойкость характеризуется сохранением формы брикетов при 3-минутном пребывании их при температуре 600—900° С. Размеры брикетов 70—75×40—50×25—35 мм.

Брикеты из марганцевых ферросплавов должны обладать прочностью на сжатие 10—15 МПа, плотностью до 6000 кг/м³, влагопоглощение через 48 ч должно составлять 0,6—0,8%. Размеры брикетов 20- 25×20—25×14—16 мм. Из чистой марганцевой руды сырые брикеты достигают прочности на сжатие и сбрасывание соответственно 3—5 МПа и 65—75%.

Брикеты из медных руд должны содержать 45—50% меди, в зависимости от давления прессования иметь прочность 8—20 МПа и долю влаги 4—7%. Размеры 130×140×70 мм.

Брикеты из фтористого алюминия должны иметь прочность на сжатие после выхода из пресса и последующей сушки соответственно 2—3 и 15—20 МПа. Для выплавки кремния брикет, представленный композицией из четырех—пяти составляющих, должен выдерживать нагрузку до 20 МПа, а при сбрасывании с двухметровой высоты содержать не более 10—15% кусков менее 10 мм. Термоустойчивость характеризуется сохранением формы брикета в течение 3 мин при 1000° С. Пористость составляет 17—19%.

Среди специфических параметров брикетов, обусловленных требованием металлургического процесса, следует отметить восстановимость и газопроницаемость. *Восстановимость брикетов* — способность рудного сырья с определенной скоростью отдавать связанный с металлом кислород газу-восстановителю. *Газопроницаемость* тесно связана с пористостью самих брикетов и пористостью брикетов, находящихся в слое различной высоты. В первом случае она определяется пористостью самого брикета, во втором — однородностью размера и формы брикетов. У брикетов, используемых для электротермических процессов, оценивается удельное электросопротивление при определенной температуре.

В отдельных случаях определяются размягчаемость, морозостойкость, водо- и атмосфероустойчивость, а также влагопоглощение брикетов.

Приведенные данные характеризуют требования показателей качества брикетов лишь некоторых металлургических переделов и специфического сырья. Эти требования могут изменяться в зависимости от состава руды, отходов производства, вида связующего, условий брикетирования и характера металлургического процесса.

3.4.2. Подготовка брикетируемых компонентов

Подготовка к брикетированию связана с обеспечением требуемых кондиций по крупности, содержанию влаги и металла в руде. Крупность руды зависит от ее твердости. Для малопрочных руд крупность должна быть не более 1 мм. Более крупные зерна в процессе приложения давления прессования растрескиваются и образуется больше новых поверхностей, не покрытых связующими. Для руд средней и высокой прочности верхний предел крупности должен находиться в пределах 5–6 мм. Так, например, при брикетировании железных руд со связующими наиболее благоприятна крупность 0–5 мм, при брикетировании без связующих верхний предел крупности снижается до 1–2 мм. К последней категории предъявляются особые требования по соотношению отдельных фракций, видов сырья, качеству и др.

Одна из разновидностей технологических схем подготовки пылевидного и шламового сырья к брикетированию следующая. Грубые фракции пыли из батарейных циклонов, тонкая пыль из рукавных и электрических фильтров направляются в смешительные шнеки. Сюда же поступает шлам, осевший в радиальных сгустителях и обезвоженный на барабанных вакуум-фильтрах. Дополнительным компонентом может быть сухая рудная пыль из дробильного отделения. Дозировка сухих компонентов осуществляется с помощью специальных шнеков-дозаторов с пневматическими запорными клапанами. Оптимальная доля влаги в шихте поддерживается подачей воды с учетом влажности компонентов. После дозировки сырьевые продукты перемешиваются в течение 1,5–3 мин в горизонтальных смесителях непрерывного действия.

Медные и никелевые руды можно брикетировать при верхнем пределе крупности до 5 мм со связующими и при крупности 0,5–1 мм — без связующих. Цинковый огарок (обоженный концентрат) и оксид цинка брикетируют при крупности не более 1 мм. Для брикетирования сурьмяных руд наличие зерен крупнее 3 мм нежелательно. Доломитовые руды можно кусковать при крупности до 10 мм, но лучше изготавливать брикеты из руды класса 0–3 мм. В металлургии магнезия брикетируют руду, измельченную до 0,074 мм. Кроме основных видов рудного сырья

для брикетирования используют отходы марганца, меди, цинка и других цветных металлов.

На прочность брикетов существенно влияет гранулометрический состав. Наличие в руде преимущественно крупных зерен приводит к образованию структуры брикетов с большими пустотами, которые необходимо заполнять связующими. Это не только удорожает стоимость брикетов, но и делает их малопрочными и термически неустойчивыми. При большом содержании в руде пылевидных классов необходимо интенсивно перемешивать компоненты шихты, повышать расход связующих и давление прессования. Тонкое измельчение оправдано лишь при брикетировании руд без связующих.

Рудные брикетные фабрики не имеют в своем комплексе специальных дробильно-сортировочных отделений. Как правило, компоненты шихты поступают в готовом виде. Однако там, где требуется подготовка руды по крупности, она связана с дроблением в молотковых или валковых дробилках, реже с измельчением и грохочением. Вся руда дробится в том случае, когда она рыхлая и непрочная. На железорудных и марганцевых брикетных фабриках в большинстве случаев крупный класс отделяют на грохотах с ситами с ячейками размером 10—15 мм. Надрешетный продукт идет на плавку в металлургическую печь, а подрешетный — после дробления до 3—5 мм брикетируется. Более мелкие сита не используют из-за низкой эффективности грохочения. При брикетировании медной руды применяют предварительное грохочение на сите с размером отверстий 6—8 мм. Надрешетный продукт додрабливают в молотковой дробилке и возвращают для контрольного отсева. На никелевых брикетных фабриках перед сушкой руда проходит контрольное грохочение. Крупный класс не дробится, а отправляется непосредственно на металлургическую плавку.

В тех случаях, когда требуется получить тонкий материал, технологический комплекс подготовки руды и рудных компонентов оборудуется шаровыми или стержневыми мельницами. Эти аппараты устанавливаются для измельчения цинкового огарка, обожженного доломита и др.

Особое значение для процесса подготовки руды, рудных концентратов и отходов производства к брикетированию имеет содержание влаги. Наличие в брикетируемом материале более 6—8% влаги отрицательно влияет на прочность брикетов. В каждом отдельном случае остаточное содержание влаги определяется в зависимости от свойств руды, размера и формы рудных зерен и гранулометрического состава. Для руд рыхлых, сильно пористых допускается при брикетировании большее содержание влаги, чем для плотных и кристаллических с низкими пористостью и влагопоглощением. Так, например, содержание влаги составляет, %: в рудных концентратах 12—15; глинистых рудах 20; бурых же-

лезняках — 30 и более. Такое сырье без сушки брикетировать невозможно, особенно со связующим.

Для сушки влажных мелких продуктов (мелких руд, флотоконцентратов, обезвоженных шламов и др.) чаще всего применяют барабанные газовые сушилки, которые отличаются удлиненным барабаном (иногда до 27 м) и сравнительно малым диаметром (1,5—2 м). Движение газов через сушилку прямоточное и противоточное. Работа сушилки зависит от крупности, пористости, структуры и влажности материала; температуры, скорости и направления движения газов; конструкции рыхлителей.

В последнее время для рудного брикетирования все больше начинают применять трубы-сушилки. Для них характерны высокая производительность, интенсивная система разрыхления материала на входе в трубу, максимальная полнота удаления влаги (ниже 1%) и эффективная четырехступенчатая система очистки газов. Диаметр трубы сушилки не превышает 0,9 м, а высота 20—22 м.

При брикетировании материала без связующих требуется определенное увлажнение шихты. Содержание влаги определяется в зависимости от свойств руды и ее гранулометрического состава. Для железных и железо-никелевых руд при крупности 0—5 мм оптимальная доля влаги составляет 20%. Однако при содержании влаги 25% и даже 10% указанные руды могут прочно спрессовываться. Медные пылевидные концентраты следует брикетировать при оптимальном увлажнении 5%. Брикетные отличаются низкой прочностью и водоустойчивостью. После выхода из пресса требуют сушки.

Брикетные из доломитовой мелочи брикетируются с добавкой 3—10% воды. При влажности шихты 5% они имеют сравнительно высокую механическую прочность, но не обладают водоустойчивостью.

Подготовка связующих занимает значительное место в технологии брикетирования руд. Органические связующие, используемые при брикетировании руд, подготавливаются методами, описанными в разд. 3.1.2.

Подготовка сульфит-спиртовой барды (ССБ) к брикетированию руд заключается в определении плотности и расхода. Обычно эти параметры находятся соответственно в пределах 1100—1300 кг/м³ и 5—8%. Хорошие результаты дает использование ССБ для брикетирования железных, хромовых, марганцевых, медных и других руд. Сульфит-спиртовая барда применяется как в жидком, так и твердом виде. В первом случае ее транспортируют, дозируют и распределяют насосами. Твердую ССБ необходимо тонко измельчать в мельницах или бегунах. Брикетные с ССБ отличаются повышенной гигроскопичностью и слабой прочностью на выходе из пресса. Для упрочения их сушат при температуре 150—200° С.

На прочность брикетов с ССБ влияет первоначальная влага брикетируемого материала. При брикетировании руд на твердом связующем оптимальная доля влаги должна составлять 5—10%. Для жидких связующих этот показатель снижается до 3—5%. Перед смешением ССБ с рудной шихтой желательно последнюю нагреть до 60—100° С. Брикеты на ССБ, как правило, изготавливают небольших объемов (30—50 см³). Иногда ССБ добавляют к основному связующему, в этих случаях ее расход не превышает 1—2%.

Известь как связующее используется в виде пушонки, известкового молока, а также в комбинации с другими видами связующих. Известь — хорошее связующее при брикетировании железных, марганцевых, медных и других руд. Расход извести колеблется от 5 до 20%. Повышенные расходы обусловлены использованием извести в качестве флюса. Подготовка извести сводится к последовательному ее дроблению и измельчению до крупности 0—3(2) мм в щековых, конусных или молотковых дробилках и шаровых мельницах. Брикетную смесь с сухой известью пропаривают в смесительных барабанах. В тех случаях, когда применяется известковое молоко, используют технологию подготовки, описанную в разд. 2.3.2. Брикеты с известью, выходя из пресса, легко разрушаются. Для их упрочнения применяется гидротермальная обработка — автоклавирование. Иногда удовлетворительные результаты получают путем естественного упрочнения за счет карбонизации атмосферной углекислотой в условиях естественного омывания брикетов воздухом.

Цементы в качестве связующих используют в брикетировании руд довольно широко. Особенно хорошо зарекомендовали себя портландцемент и шланговый цемент. В некоторых случаях применяют комбинированные цементы, получаемые из смеси железных, отвалных цементов и известняка. Расход цемента-связующего колеблется от 5 до 20%. Цемент как связующее применяется для получения железорудных и цинковых брикетов. Подготовка цемента к смешению заключается в тщательной дозировке и герметичной транспортировке. Особые меры должны быть применены в местах разгрузки и хранения цемента для предотвращения его твердения. Брикеты с цементным связующим из пресса удаляются тяжело, иногда даже вручную. Они отличаются низкой прочностью в сыром виде. Брикетирование руд с цементом сдерживается из-за наличия в нем значительной доли кремнезема.

Растворимое стекло может применяться для брикетирования в жидком и твердом виде. Твердое вещество — силикат глыба требует дробления и измельчения с последующим растворением в воде. Плотность растворимого стекла в зависимости от модуля основности колеблется от 1450 до 1250 кг/м³. Расход связующего составляет 3—8%. Добавка к растворимому стеклу электролита

(0,5%) сокращает его расход до 1—2%. Растворимое стекло дозируется путем высоконапорного распыления в месте смешения с твердыми компонентами шихты. С помощью этого связующего брикетируют железные, марганцевые, алюминиевые, хромовые и другие руды. Брикеты после сушки и обжига обладают высокой механической прочностью и водоустойчивостью.

Подготовка других неорганических связующих сводится к их измельчению, повышающему скрепляющую активность (в мельницах и бегунах). В последних связующие раздавливаются под массой катков и истираются вследствие их скольжения. Тонкость измельчения определяют в каждом отдельном случае в зависимости от поверхностно-активных свойств связующих, интенсивности смешения и последующего эффективного распределения тонкодисперсных связующих в объеме брикетируемой руды.

Завершающий этап подготовки брикетной смеси — дозировка компонентов и их тщательное перемешивание. В некоторых схемах смешение состоит из отдельных стадий. Это дает возможность более равномерно распределить рудные составляющие и связующее в объеме брикетной смеси. Недостаточно перемешанная смесь неоднородна по своему составу, плохо брикетируется. Для повышения качества брикетов неизбежно увеличивается расход связующего. Недопустимо слабое перемешивание при брикетировании без связующих.

Основные трудности в получении однородной брикетной смеси связаны с рядом факторов. Прежде всего с крупностью брикетируемого материала. Чем он крупней, тем сложнее достичь однородной массы, и наоборот. Длительного смешения требуют порошкообразные вещества. Большое влияние оказывает способ подачи связующего к рудным компонентам. Жидкие связующие лучше всего вводить в шихту путем распыления по всей площади смесителя, работающего в прерывном режиме. В смеситель с непрерывной подачей материала связующее вводят совместно с рудными компонентами. Для получения качественной брикетной смеси необходимы точная и равномерная дозировка ее отдельных компонентов.

Для дозировки компонентов брикетной смеси применяют тарельчатые, барабанные, вибрационные, шнековые и другие питатели. В качестве смесителей наибольшее распространение получили одно- и двухвальные лопастные смесители, барабанные смесители, различные дробильно-размольные машины и многоступенчатые мешалки. Последние отличаются низкой энергоемкостью, эффективной смешиваемостью материалов с различной плотностью, высокой эксплуатационной надежностью. На ряде фабрик эксплуатируются импульсные и противоточные смесители. Хорошие результаты можно достичь при совмещении измельчения и смешения материала в шаровых, стержневых или вибрационных мельницах. Совместное измельчение рудных ком-

понентов при одновременном вводе связующего способствует значительному упрочению брикетной массы в процессе прессования. Улучшаются условия последующих процессов карбонизации, автотлавирования, термической обработки и др.

3.4.3. Прессование

Важнейшее условие для получения брикета — удельное давление прессования. Оно зависит в большой степени от конструкции пресса и характера производимого сжатия (одно- или двухстороннее). При одностороннем приложении усилий прессование затруднено равномерное уплотнение брикета по высоте. Только очень высокие давления (более 70—100 МПа) могут в какой-то мере обеспечить достаточную его прочность. Однако тогда энергетические затраты используются нерационально. Значительно удорожается процесс изготовления брикетов. Для создания условий равномерного уплотнения брикетируемой рудной шихты используется принцип двухстороннего сжатия. При этом высота брикетов должна быть по возможности небольшой. Рекомендуется для цилиндрических брикетов ограничивать отношение высоты к диаметру примерно 1:2.

На прочность рудных брикетов существенно влияет усадка прессуемой массы. Усадка брикетов (рис. 3.30) из титаномангнетитовой (1), марганцевой (2) руд и бурого железняка (3), по данным Л. А. Лурье, происходит наиболее интенсивно в интервале давлений прессования от 0 до 80 МПа. Характер усадки рудной шихты остается постоянным. Его можно достаточно полно описать уравнением

$$h = \sqrt{kr}, \quad (3.38)$$

где h — усадка рудной шихты, % высоты засыпки материала; r — давление прессования, МПа; k — коэффициент, зависящий от гранулометрического состава, формы зерен и доли влаги в материале (для вышеуказанных руд он равен соответственно 2,4; 2,9; 3,5).

Считается, что усадка достигает своего максимума, когда плотность брикетов приблизится к плотности исходной руды.

Условия прессования зависят от физико-химических свойств прессуемой рудной шихты, крупности и влажности материала, расхода и качества связующего, интенсивности перемешивания и температуры брикетной смеси.

Для брикетирования руд применяют *прессы периодического и непрерывного действия*. К первым относятся штемпельные, револьверные (столовые) и рычажные; ко вторым — вальцовые и кольцевые. Особенности процесса прессования в вальцовых, штемпельных и кольцевых прессах, подробно рассмотрены в разд. 3.1.4 и 3.2.4.

Револьверные (столовые) прессы обеспечивают двухступенча-

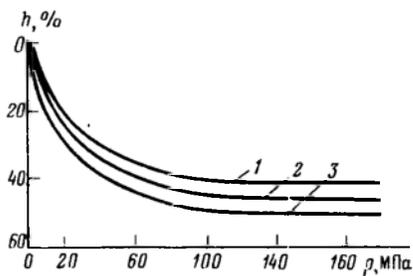


Рис. 3.30. Кривые усадки рудных брикетов

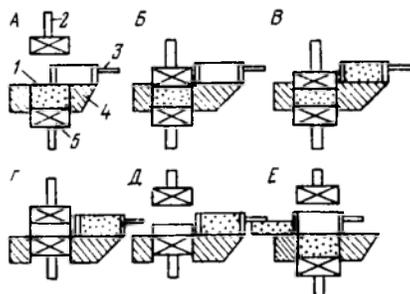


Рис. 3.31. Схема прессования в рычажном прессе

тое и двухстороннее сжатие брикетной смеси. Технологический комплекс прессования в столовом прессе состоит из отдельных операций. Их последовательность следующая: заполнение пресс-форм шихтой; легкое уплотнение за счет массы штемпеля; удаление из шихты воздуха вследствие подъема верхнего штемпеля; одновременное сжатие верхним и нижним штемпелями при поднятом верхнем; очистка штемпеля перед очередным циклом прессования.

Для получения прочных брикетов, особенно из тонкой рудной мелочи рекомендуется прессование вести в несколько стадий. Для этого пользуются приемами с промежуточным понижением давления. Такой технологический режим позволяет максимально удалить воздух из прессуемой массы. Брикет приобретает высокую прочность и плотность.

Для создания постоянного давления прессования используются гидравлические регуляторы. Их число соответствует числу ступеней прессования. Необходимое давление устанавливают с помощью гидравлических регуляторов в зависимости от характеристики брикетируемого материала, пластичности смеси, степени заполнения пресс-форм.

Рычажный пресс по принципу работы близок столовому прессу. Он характеризуется двухсторонним сжатием со специальным подвижным устройством, подающим шихту к пресс-формам. Схематически работу рычажного пресса можно изобразить следующим образом (рис. 3.31). Питатель 3 загружает брикетную шихту 1 в пресс-форму 4. В этот период нижний штемпель 5 находится в крайнем нижнем положении, а верхний штемпель 2 — в крайнем верхнем положении. Таков первоначальный этап А прессования. На этапе Б питатель занимает свое крайнее положение. Верхний и нижний штемпели начинают двигаться друг против друга. Для этапа В характерны заполнение питателя очередной порцией брикетной смеси и достаточно интенсивное сжатие шихты в пресс-форме. Верхний штемпель достигает

своего крайнего нижнего положения. Нижний штемпель продолжает движение вверх. Этап *Г* характеризуется выходом готового брикета из пресс-формы. Нижний штемпель достигает своего максимального верхнего положения. Верхний штемпель под воздействием усилий нижнего занимает среднее положение, придерживая готовый брикет. Затем верхний штемпель переходит в свое начальное положение (этап *Д*), а нижний начинает движение вниз. При этом одновременно включается привод штемпеля и он выталкивает готовый брикет к разгрузочному желобу. Процесс выталкивания брикета совпадает с загрузкой новой порции шихты в пресс-форму (этап *Е*). Далее процесс изготовления брикетов повторяется.

Для рычажных прессов большое значение имеет время выдержки брикетов под давлением для максимального удаления из них воздуха. Особенно важен этот технологический прием при брикетировании микропористых руд. Воздух удаляется из спрессованного брикета по специальным каналам, связанным с пресс-формой.

Вальцовые прессы получили наибольшее распространение при брикетировании руд. Эти прессы отличаются высокой производительностью, большими усилиями прессования, экономичны, не требуют больших эксплуатационных затрат, малогабаритны. Они пригодны для брикетирования абразивных материалов и высокотемпературного окускования. Вальцовые прессы позволяют сравнительно просто изменять размеры и форму брикетов. Они универсальны для брикетирования любого рудного или композиционного сырья.

Работа вальцовых прессов при брикетировании руд во многом зависит от предварительного уплотнения шихты — *подпрессовки*, основная цель которой — увеличение насыпной массы прессуемого материала. Одновременно при этом достигаются снижение расхода связующего, уменьшение пластичностей брикетной смеси, строгое дозирование шихты в межвалковое пространство. Применение подпрессовки позволяет развить давление прессования на вальцовых прессах более 100 МПа. Особенности различных конструкций подпрессовщиков подробно описаны в разд. 4.4.2.

Для разных металлургических процессов необходимы различные брикеты по конфигурации и объему. Так, например, брикеты из железной руды для мартеновских плавок должны иметь цилиндрическую или прямоугольную форму с закругленными краями. Для мартеновских плавок брикеты изготавливают в форме окатышей объемом до 10—30 см³. Для электросталеплавильного производства используются брикеты орехо- или яйцевидной формы объемом до 50 см³. Для металлургического передела молибдена рекомендуются брикеты конической формы массой 2—3 кг. Медные брикеты изготавливают массой до 100 г подушкообраз-

ной или яйцевидной формы. Наиболее эффективно можно реализовать требования к брикетам по форме и небольшой массе на вальцовых прессах. В тех случаях, когда необходимо изготавливать крупногабаритные брикеты, используют штемпельные, столовые, рычажные и прессы других типов.

Один из важнейших факторов прессования — давление. Для различных металлургических переделов брикеты получают в широком диапазоне давлений прессования. Для железорудных брикетов со связующими оптимальными давлениями прессования можно считать 40—50 МПа. Если же брикетируется железная руда без связующих, то для получения качественных брикетов давление следует увеличить до 100—120 МПа. С уменьшением крупности руды при замене полимерных органических связующих на неорганические необходимо повысить давление.

Давление прессования тесно связано с влажностью руд и подчиняется экстремальному закону. Усадка железорудных брикетов протекает наиболее активно в интервале давлений от 0 до 15 МПа. Дальнейшее его увеличение не приводит к заметным изменениям высоты и плотности брикетов.

Марганцевые руды можно брикетировать в широком диапазоне давлений прессования (от 25 до 74 МПа). Это связано с различными технологическими условиями брикетирования и физико-химическими свойствами руды.

Давление прессования при окусковании медных руд с композиционным неорганическим связующим составляет 35—45 МПа. Для получения крупных брикетов из меднорудной мелочи без связующих прессование осуществляется в две стадии. На первой ступени сжатия развивается давление до 40—60 МПа. На второй оно повышается до 100—150 МПа. Двухстадийное приложение усилий позволяет равномерно уплотнить брикеты по всему объему. Окисленные никелевые руды наиболее эффективно брикетируются при давлении прессования 50—60 МПа. При брикетировании тонкоизмельченных никелевых концентратов со связующим ССБ при сравнительно низких влажностях (до 3%) давление прессования возрастает до 80—100 МПа.

Брикетную смесь, составленную из цинкового концентрата (50—60%), угольного концентрата (30—40%), и ССБ (6—8%), окусковывают при давлении 15—20 МПа с последующей термообработкой. Брикетирование отходов цинкового производства на каменноугольном пеке требует давлений прессования 25—30 МПа. Другие рудные материалы достаточно прочно окусковываются при наличии связующих и без них, если давление прессования находится соответственно в пределах 30—70 и 80—150 МПа.

3.4.4. Подготовка брикетов к металлургическому переделу

Подготовка брикетов к металлургическому процессу сводится к упрочению их структуры в результате усиления механических связей и повышения термической устойчивости. Обычная операция охлаждения не может обеспечить требуемую прочность брикетов. Исключением является лишь брикетирование железных и никелевых руд с чугушной стружкой. В процессе взаимодействия компонентов брикетной смеси происходит кристаллизация продуктов коррозии в присутствии катализатора на стыках рудных частиц. Образуются солевые мостики, обеспечивающие высокую прочность брикетов. Брикеты после пресса направляют непосредственно на металлургическую плавку.

Для упрочнения брикетов применяют различные *методы усиления механической и термической прочности*. Один из таких методов — *термоокислительная обработка*. Цель ее — ускорение полимеризации связующих в сырых брикетах. Она проводится в шахтных или туннельных, иногда в кольцевых печах. Процесс может быть непрерывным или периодическим. Температура термообработки брикетов составляет 600—1400° С. Продолжительность процесса зависит от крупности брикетов, расхода и спекающей способности связующего, температуры и состава горячих газов. Термообработка находит применение для подготовки железорудных, цинковых, молибденовых, а также рудно-угольных брикетов.

Сушка применяется для упрочения брикетов, полученных на нефтесвязующем или каменноугольном пеке. Сушка проводится при температуре 150—250° С в течение 6—8 ч. Готовые брикеты используются как добавка к основной металлургической шихте. Иногда брикеты сушатся в течение 3—4 сут. в естественных условиях при температуре 18—20° С.

Брикеты с добавками ССБ, выходящие из пресса, также не обладают требуемой механической прочностью. Для их упрочения применяют сушку. Она протекает при температуре 150—200° С в течение 30—60 мин. Более высокие температуры пагубно влияют на прочность брикетов, так как разлагается основная масса сухого лигносульфонового комплекса. Меднорудные брикеты на основе ССБ упрочаются в условиях естественной сушки в течение 1—5 сут. Брикеты из порошкообразного фтористого алюминия, полученные при давлении прессования 40 МПа, подвергают вакуумной сушке при температуре 100° С. Вакууммирование ускоряет упрочение брикетов почти втрое.

Сырые брикеты, полученные на основе неорганических связующих, обязательно проходят дополнительную обработку по усилению механической прочности. Для упрочения брикетов с известью можно использовать *метод естественного вылеживания*

ния, искусственную карбонизацию и гидротермальную обработку (автоклавирование).

Естественное вылеживание брикетов — простой метод, но малоэффективный. Для его реализации требуются большие площади. Брикеты раскладываются тонким слоем под навесом и выдерживаются в естественных условиях от нескольких часов до 2—3 дн. Этот метод требует больших эксплуатационных затрат, недостаточно механизирован.

Искусственная карбонизация сопровождается сушкой со строго регламентированной интенсивностью. Интенсивная сушка замедляет карбонизацию. Происходит быстрая выпарка влаги. Длительная сушка, особенно при высоком содержании влаги, приводит к торможению цементации. Задерживается процесс достижения оптимальной влажности. Наиболее эффективно карбонизация сырых брикетов протекает в условиях подсушки нагретым до 100—110° С горячим воздухом. Предварительный нагрев способствует раскрытию микропор и улучшению диффузии углекислоты внутрь брикетов. Интенсивность карбонизации можно повысить вводом в брикетную смесь небольшого количества (до 0,1%) ПАВ — катализаторов. Положительно на прочность карбонизированных брикетов сказывается обработка в восстановительной среде при температуре 1100—1200° С. Карбонизация с термообработкой относится к дорогостоящим процессам упрочнения брикетов. Она применяется в случае экономической целесообразности.

Более простой и экономичный метод упрочнения брикетов на основе известкового связующего — *автоклавирование*. Гидротермальное обрабатывание брикетов сводится к взаимодействию геля кремнезема, содержащегося в руде, с гидроксидом кальция. В результате образуются прочные химические соединения гидросиликатов кальция. Они выступают дополнительными силами сцепления между кристаллами внутри брикетов. Автоклавному упрочнению способствует добавка в брикетную смесь кремнийсодержащих компонентов, например тонкоизмельченного трепела, пылевидного кварца и др. Ввод указанных добавок при автоклавировании меднорудных брикетов сокращает длительность гидротермальной обработки в 4 раза и уменьшает расход основного связующего (известки). Гидротермальную обработку брикетов производят в специальных герметических аппаратах — автоклавах. Они представляют собой горизонтально расположенную цилиндрическую емкость со сферическими днищами. Внутри автоклав оборудуется паровыми змеевиками. Пар, поступающий на обработку брикетов, имеет давление 0,7—1,2 МПа и температуру 175—180° С. Автоклавирование применяется для упрочнения железорудных, марганцевых, хромовых, медных и других рудных брикетов.

При брикетировании руд с растворимым стеклом основной

метод их упрочения — сушка. В отдельных случаях применяется карбонизация, которая ускоряет гидролиз силиката натрия. Сушка брикетов ведется при температуре 150—250° С в течение 15—30 мин. Упрочение брикетов из пылевидного сырья требует более высоких температур (300—500° С). Такой же нагрев брикетов необходим при малых (2—4%) расходах связующего — растворимого стекла.

Брикеты на цементных связующих выходят из пресса очень слабыми. Их снимают вручную. Естественное упрочение очень длительное. Для его интенсификации используют *метод гидратационного твердения* — тепловую обработку при температуре 60—100° С в течение нескольких часов. В качестве теплоносителей используется пар, увлажненный воздух, электро- и радиационные нагревательные элементы. Гидратационное твердение улучшается в процессе сушки. Брикеты на цементной основе могут упрочаться также путем вылеживания в естественных условиях в течение нескольких суток. Естественное вылеживание — дорогостоящий процесс, требующий больших площадей и специальных складских помещений.

Для повышения упрочающего воздействия используется *метод брикетирования с комбинированными связующими*. Он позволяет интенсифицировать адгезионные связи внутри брикетов. Повысить их прочность уже при выходе из пресса. Кроме того, компаундирование неорганических связующих с каменноугольным пеком и нефтесвязующими создает условия для глубокой термообработки при высоких температурах.

При брикетировании руд без связующих упрочение брикетов осуществляется комбинированными методами низко- и высокотемпературной обработки. На первом этапе брикеты подвергаются естественному или слабому тепловому воздействию. Им придается минимальная устойчивость структурного каркаса. На следующих этапах в зависимости от характера включающих пустых пород рудного материала могут применяться гидратационное упрочение, карбонизация или термическая высокотемпературная обработка. Однако даже комбинированное упрочение брикетов без связующих позволяет их использовать в металлургической шихте только в виде добавок.

Способ окускования рудоугольных композиций — одна из разновидностей технологии упрочения брикетов. Условия формирования таких брикетов определяются действием высоких температур. Температурные напряжения приводят к деструкции угля и непрерывному формированию пластической угольной массы. Последняя выступает в процессе прессования рудоугольной смеси в качестве связующего. Брикетирование пластической массы зависит от температуры предварительного нагрева угля, времени нахождения угля при этой температуре и прилагаемых давлений прессования. Если температура прессования

близка к температуре затвердевания угля, разложение угольного вещества глубокое. То же происходит, если в смеси много диспергированных угольных частиц, способствующих упрочению брикетов. Для различных углей температура пластического состояния находится в пределах 350—450° С. С повышением температуры жидкая фаза затвердевает и образуется термостойкий коксовый каркас, наполненный частицами руды.

Прочность рудококсового брикета зависит от природы рудного вещества. Она закономерно убывает в ряду: магнетит, гематит, хромовая и марганцевая руда. Для получения рудококсовых брикетов по этой технологии предполагается использование наиболее низкотемпературных сортов углей. Это обуславливает ее высокую экономичность и технологическую целесообразность. В качестве углеродистой добавки возможно использование бурых углей и торфа, а также их комбинации с каменными углями. Для получения прочных брикетов брикетную смесь окусковывают с приложением усилий прессования 100–150 МПа. Сырые брикеты подвергают высокотемпературному воздействию без доступа воздуха. Достигается высокая степень упрочения, позволяющая прямое их использование в металлургическом процессе. Окускование рудоугольных смесей часто используется для частичной металлизации с целью последующей переработки в металлургическом процессе.

3.4.5. Рудные брикетные фабрики

Рудная брикетная фабрика — сложный технологический комплекс с большой концентрацией оборудования. Как правило, она располагается на территории металлургического завода. Это позволяет обеспечить прямую передачу брикетов для металлургической плавки, а также использовать общезаводское транспортное, ремонтно-механическое, водовоздушное и энергетическое хозяйство.

Технология брикетирования железных руд. Брикетирование железорудных материалов имеет широкую сырьевую базу. Прежде всего это железные руды, концентраты, флюсы. Окускованию подвергаются также специальные экзотермические шлакообразующие смеси, шихты для металлотермических процессов, мелкие фракции ферросплавов. В последнее время брикетируют пыль металлургического производства, а также мелкие отходы. Во всех случаях целесообразность брикетирования оценивается по экономической эффективности продукции металлургического передела.

Брикетная фабрика для окускования железной руды (рис. 3.32) с использованием типовой технологической схемы окускования выглядит следующим образом. Исходный материал поступает в расходные бункера 1, оборудованные дозаторами 2, откуда направляется на сборный конвейер 3. Известь перед поступ-

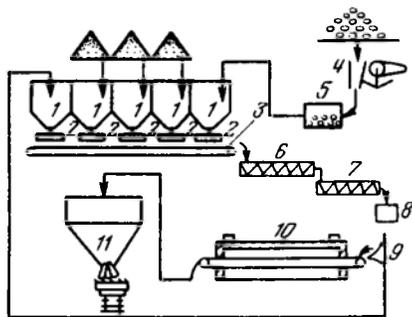
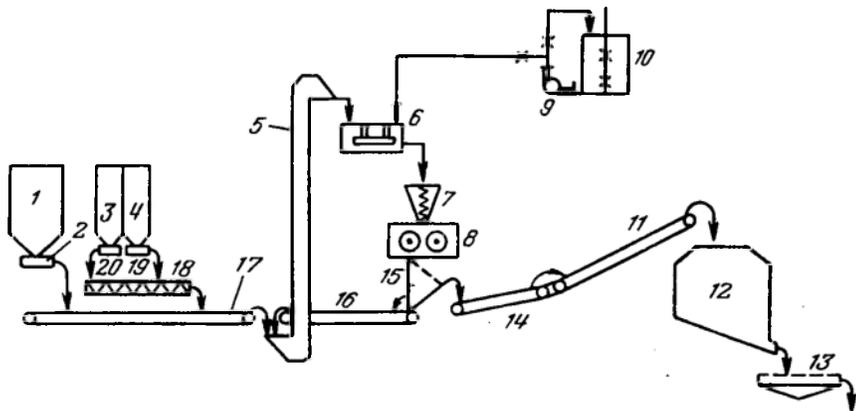


Рис. 3.32. Схема цепи аппаратов железорудной брикетной фабрики

Рис. 3.33. Схема цепи аппаратов фабрики для холодного брикетирования металлизированной мелочи



лением в расходный бункер дробится и измельчается в щековой дробилке 4 и шаровой мельнице 5. После дозировки известь вместе с другими материалами поступает на конвейер 3. Далее шихта направляется для сухого перемешивания в смеситель 6. В смесителе 7 она дополнительно перемешивается, увлажняясь паром и водой. Подготовленная брикетная смесь направляется в вальцовый пресс 8. Брикетки из-под пресса поступают на колосниковый грохот 9 для отсева мелочи. Сырые брикеты для упрочения направляются в туннельную сушилку 10. Готовые к плавке брикеты через бункер 11 поступают на погрузку.

Технология брикетирования железорудного концентрата с чугушной стружкой осуществляется по следующей схеме. Рудный концентрат из отделения обогащения подается для шихтовки с чугушной стружкой. Последняя разгружается со склада на грохот для отсева посторонних примесей. Измельчается в шаровой мельнице, работающей в замкнутом цикле с вибрационным грохотом. В шихту дозируется поваренная соль предварительно измельченная. Подготовленные компоненты шихты питателем через сборный конвейер подаются в горизонтальный смеситель.

Готовая шихта направляется для прессования. Сырые брикеты вылеживаются несколько суток на складе для упрочнения.

Известна технология холодного брикетирования металлизированной мелочи. Сырьем является подрешетный продукт грохочения губчатого железа, выходящего из восстановительной шахтной печи. Крупность его не превышает 3 мм. В сырьевую смесь для брикетирования добавляются сухие и мокрые продукты системы пылеулавливания с высокой степенью металлизации. В качестве связующего используется композиционный адгезив, состоящий из твердых и жидких компонентов. Наиболее высокие технологические свойства брикетов достигаются в случае применения 15--20% гашеной извести, крупностью менее 0,15 мм, 15--20% порошкообразной смолы, 30--35% жидкого силиката натрия и до 50% воды. Вместо гашеной извести может быть использована влажная прокатная окалина. Прочность брикетов после выхода из пресса сравнительно низкая. Однако после непродолжительного выдерживания на воздухе брикеты упрочняются до требуемых кондиций.

Технологическая схема холодного брикетирования металлизированной мелочи приведена на рис. 3.33. Сухая металлизированная мелочь аккумулируется в бункере 1, из которого дозатором 2 направляется на конвейер 17. На этот же конвейер из бункеров 3 и 4 дозаторами 19 и 20 через смесительный шнек 18 подаются твердые компоненты связующего. С конвейера 17 сухие продукты поступают в ковшевой элеватор 5. В него же направляется бой брикетов конвейером 16. Выгрузка элеватора производится в смесительные бегуны 6. Сюда же одновременно из бака 10 с помощью дозирочного насоса 9 закачиваются жидкие компоненты связующего.

В бак 10, если его оборудовать мешалкой, можно подавать мокрые пылевидные продукты улавливания шахтной печи для получения губчатого железа. После тщательного смешивания всех компонентов брикетная смесь шнековым подпрессовщиком 7 подается в межвалковое пространство пресса 8. Брикеты проходят предварительный отсев на стационарном сите 15. Готовая продукция системой конвейеров 14, 11 загружается в хранилище брикетов 12. Из него после окончательного отсева боя на грохоте 13 брикеты отправляются на металлургический передел.

Эта технология позволяет использовать в качестве сырья шлам отстойников, окисную мелочь и прокатную окалину. Технологические результаты холодного брикетирования следующие: плотность брикетов 4200--4660 кг/м³; прочность на сжатие сырых брикетов 200--250 кг, а после выдержки на воздухе -- 300--360 кг; прочность брикетов на пятикратное сбрасывание 85%. Разработана технология холодного брикетирования металлизированной мелочи без применения связующих при повышен-

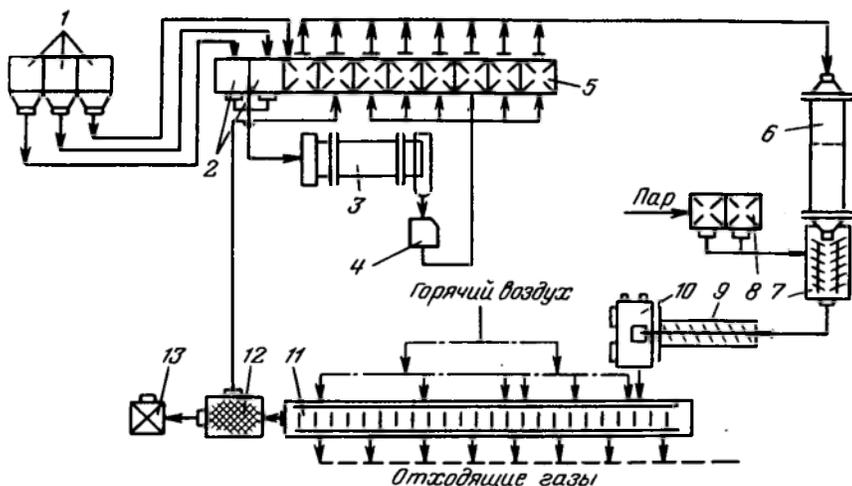


Рис. 3.34. Схема цепи аппаратов брикетной фабрики хромомарганцевой смеси

ных давлениях прессования до 300 МПа. Прочность брикетов высокая.

В металлургии железа используются брикеты как добавки к основной шихте. Одной из разновидностей являются брикеты, полученные из шлакообразующих смесей следующего состава, %: известь 65; флюоритовый концентрат 5; марганцевая руда 20; порошок алюминия 10. Прочность сырых брикетов на сжатие до 35 кг. Такие брикеты при расходе 12 кг на 1 т стали способствуют снижению в ней серы на 20—27%, уменьшению пылевыведения, а также брака проката по поверхностным дефектам.

Технология брикетирования марганцевых и хромовых руд. Брикетирование шихт на основе хромовых и марганцевых руд с добавкой кварцитов позволяет использовать в качестве сырья руды, их концентраты, отходы производства ферросплавов и пылевые низкосортные концентраты.

Схема цепи аппаратов одной из брикетных фабрик, использующих хромовую руду, железомарганцевый и марганцевый концентраты, песок и нефтяной полукокс показана на рис. 3.34. Указанные компоненты поступают в приемные 1 и дозированные 2 бункера, откуда направляются в барабанную сушилку 3. Сухой продукт подвергается дроблению до 3 мм в молотковой дробилке 4 и складированию в бункерах 5. Далее шихта поступает в мельницу 6 сухого измельчения. Измельченный продукт в смесителе 7 смешивается с нагретым связующим, поступившим из емкости 8. Затем брикетная смесь направляется в охлаждающий шнек 9 и вальцовый пресс 10. Готовые

брикеты подаются в ленточную сушилку 11. В сушилке брикеты, уложенные в три-четыре слоя, медленно движутся на пористой ленте. Для сушки подают воздух, нагретый до 150—180° С, который фильтруется через слой брикетов и отверстия ленты. Сухие брикеты, пройдя грохот 12 для отсева боя, направляются на склад готовой продукции 13.

Технологические показатели брикетирования: расход сульфит-спиртовой барды 4—7% в зависимости от состава шихты; прочность на сжатие и удар соответственно 30—50 МПа и 65—75%. Добавка в рудную шихту 25% указанных брикетов позволяет при выплавке ферросплавов уменьшить себестоимость процесса на 3—6 руб. на 1 т сплава.

Брикетирование ферросплавов как перспективное направление использования мелких фракций может быть осуществлено по следующей схеме. В качестве шихтовочных компонентов применяются хром и ферросилиций крупностью менее 2—3 мм. Компоненты дозируются и смешиваются в бегунах. Добавляется калиевый хромпик (0,5 кг/т), силикат глыба крупностью менее 3 мм (10 кг/т) и жидкое стекло (5% массы брикетной смеси). Прессование осуществляется в столовом формовочном прессе с получением плит массой 70 кг. Плиты сушат в туннельных печах при 200° С и дробят до 100 мм. Металлургическое использование брикетов позволяет исключить предварительный нагрев, обеспечить равномерное распределение кремния и уменьшить угар марганца и хрома.

Мелкие фракции марганцевых ферросплавов брикетируют при давлении прессования 100 МПа на вальцовом прессе. Связующее — ССБ или жидкое натриевое стекло. Его расход 2%. Масса брикета 30—50 г, размеры 25—30×20—25×14—16 мм. Прочность на сжатие 100—150 кг. Плотность брикетов 5900 кг/м³. Влагопоглощение 0,7% через 48 ч. Брикеты используются для раскисления стали.

Брикетированию подвергают концентраты карбонатных марганцевых руд в композиции с каменноугольным концентратом и известью в соотношениях 67—74, 23—30 и 3%. На брикетной фабрике установлены горизонтальные смесители и вальцовые прессы. В металлургическом переделе брикеты используются в общей шихте с марганцевым концентратом. Ввод в шихту брикетов позволяет повысить степень перехода кремния и марганца в сплав. Значительно снижаются потери последнего, уменьшается расход электроэнергии.

Технология брикетирования никелевых руд. Брикетирование никелевых руд производится в вальцовых прессах без добавки связующих. Предварительно руда сушится. Прочность брикетов обеспечивается действием молекулярных сил сцепления между контактирующими частицами руды. Большую роль в этой технологии играет влага. Наличие влаги до 7—10% и глиносоде-

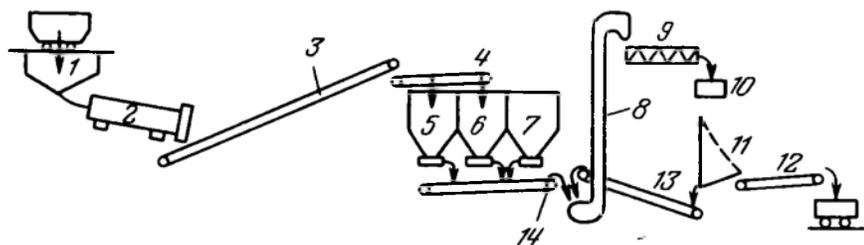


Рис. 3.35. Схема цепи аппаратов фабрики для брикетирования никелевых руд

жащих пород — основа для упрочения брикетов при оптимальном давлении прессования 50–60 МПа.

На рис. 3.35 показана схема цепи аппаратов брикетной фабрики, окусковывающей рыхлые глинообразные никелевые руды. Вяжущие свойства брикетируемой шихты придают глины вмещающих пород, а также небольшая добавка гипса. Сырая руда крупностью 25 мм из бункера 1 подается на барабанную сушилку 2, откуда направляется конвейерами 3, 4 в дозирочные бункера руды 5 и 6. В дозирочный бункер 7 подается гипс. Из бункеров руда, пыль и гипс передаются на конвейер 14, элеватор 8 и в двухвалый смеситель 9. Из смесителя шихта поступает в вальцовый пресс 10. Сырые брикеты, пройдя колосниковый грохот 11, направляются конвейером 12 в шахтную печь для обжига. Бой брикетов из-под грохота поступает на конвейер 13 и далее в элеватор.

Для улучшения технологии переработки окисленных руд с шахтной плавки также применяется брикетирование. Оно позволяет сократить потери никеля и кобальта с отвальными шлаками, снизить расход дефицитного доменного кокса и безмедистого пирита, повысить степень использования серы. Брикетированию подвергаются окисленная никелевая руда, высокосернистый нефтекс и пирит. Возможна добавка в шихту каменноугольного коксика и сухой пыли шахтных печей. Влажность шихты составляет 12–14%. После смешения компонентов брикетную смесь прессуют в вальцовом прессе при давлении 50 МПа. Прочность брикетов на сжатие и сбрасывание соответственно составляет 20–50 кг и 75–80%. Брикеты сохраняют термическую стойкость при температурах 600–900° С.

Разновидностью описанной технологии может быть метод брикетирования, позволяющий использовать в качестве сульфидизатора (вещество, способствующее выводу в шлаки сернистых соединений) флотационные сернистые колчеданы. Последние являются отходами обогащения. Для получения качественных брикетов в шихту помимо вышеназванных компонентов вводят наждачную пыль, шлак электроплавки вторичного никелевого сырья и металлоотходы. Механические параметры остаются не-

изменными, но десульфуризация и деарсенизация при плавке возрастает соответственно с 54 до 61% и с 22 до 56%.

Брикетирование кремнистых и никелевых руд, содержащих тальк, осуществляется со связующими органического и неорганического происхождения. Некоторые связующие выполняют одновременно роль сульфидующих реагентов, например, гипс.

Технология брикетирования медных руд. Брикетирование медной руды для использования ее в медеплавильном производстве — эффективный метод окускования, позволяющий утилизировать мелочь медного колчедана, цементную медь, концентраты сульфидных руд, а также металлургические отходы. Брикетирование осуществляют с добавкой связующих или без них.

Схема цепи аппаратов меднорудной брикетной фабрики приведена на рис. 3.36. Брикетное сырье состоит из руды крупностью 25 мм, пыли, уловленной в шахтной печи, боя брикетов, известковой пушонки и трепела. Известковая пушонка представлена гашеной известью, содержащей чистый гидроксид кальция. Трепел — аморфный кремнезем, состоящий на 75% из SiO_2 , 10% Al_2O_3 , остальное FeO , CaO и др. Содержание влаги до 40%. Соотношение указанных компонентов в брикетной смеси, %: руда и бой брикетов 87—90; трепел 6—8; известь 4—5. Руда дробится до 6—8 мм, известь — до 3 мм, трепел измельчается до 0,5 мм. После дробления и измельчения компонентов брикетной смеси их перемешивают. Эта операция осуществляется во вращающемся смесительном барабане с пропариванием и добавлением небольшого объема воды. Смешение совмещается с гашением извести. Время смешения составляет 45—60 мин. Из смесителя шихта через аккумулирующие бункера поступает на дополнительную переработку в бегуны, куда при необходимости подается вода в количестве 6—7% массы шихты. Готовая смесь для брикетирования направляется в столовые прессы, развивающие давление прессования 35—45 МПа. Сырые брикеты массой 2—2,5 кг укладывают на поддоны и электрокарами транспортируют в автоклавы для упрочения. Процесс автоклавирования длится 6—8 ч. За этот период завершается протекание реакции



Образующийся силикат кальция связывает компоненты брикета в единый монолит. После охлаждения брикеты имеют прочность на сжатие 16—23 МПа. Прочность брикетов можно повысить, увеличивая температуру и давление пара. Одновременно при этом значительно снижается время автоклавирования.

Описанная технология позволяет использовать рудную мелочь вместо монолитной руды с применением более глубокого гашения извести и тщательной классификации по крупности. Смешение компонентов ведется в лопастных смесителях, куда добавляется 7—8% воды. Прессование с двухступенчатым обжатием (на

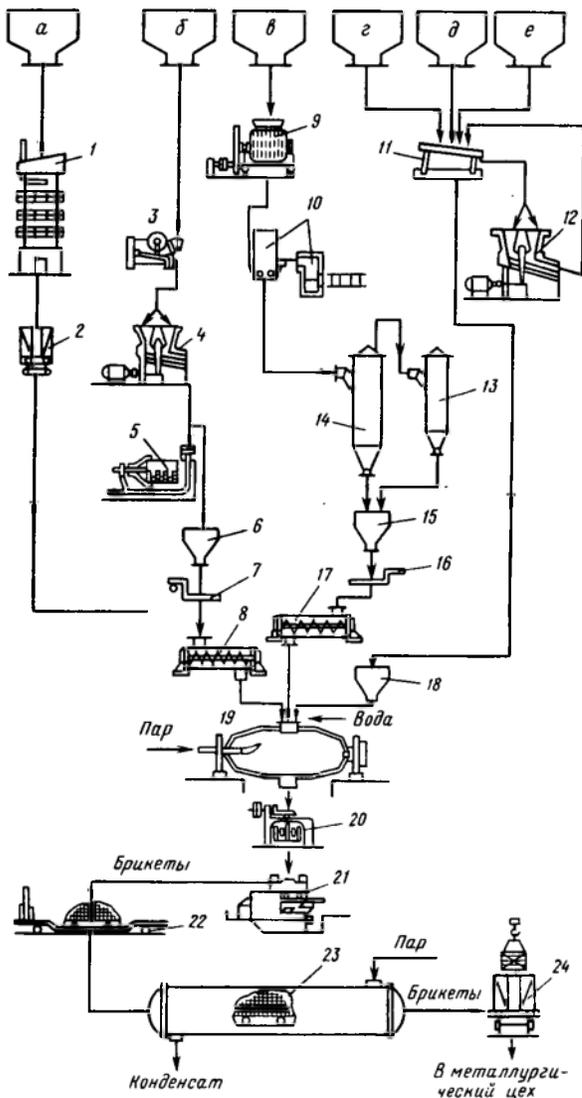


Рис. 3.36. Схема оборудования меднорудной брикетной фабрики:

а — известняк; б — известь; в — трепел; г — рудная мелочь; д — бой брикетов; е — пыль; 1 — печь для обжига известняка; 2 — вагон; 3 — шнековая дробилка; 4, 12 — конусная дробилка; 5 — шаровая мельница; 6, 15, 18 — бункер; 7, 16 — весы; 8, 17 — шнековый смеситель; 9 — двухвалковая дробилка; 10 — шахтная печь; 11 — грохот; 13 — циклон тонкого улавливания; 14 — циклон грубого улавливания; 19 — смесительный барабан; 20 — бегуны; 21 — пресс; 22 — электролифт; 23 — автоклав; 24 — вагон

первой ступени давление 4—6 МПа, на второй — 10—15 МПа) позволяет получить брикеты-кирпичи массой 4,5—5 кг. Сырые брикеты укладываются в штабеля высотой 2—3 м и подвергаются естественной сушке в течение 7—8 сут на складе закрытого типа. Сушка протекает с выделением тепла и нагревом штабеля брикетов до 80—120° С. Прочность брикетов на сжатие после выжигания составляет 13—16 МПа.

Технология брикетирования прочих руд. Брикетирование цинковых руд осуществляется в случаях переработки цинковых концентратов в вертикальных или горизонтальных ретортах. Состав брикетной шихты следующий, %: агломерат цинкового концентрата, измельченного до 1 мм, 50—55; мелочь коксующегося угля 5; кокс 25; сухая глина 4—5; бой брикетов 8—10; сульфит-спиртовая барда 1—2. Смесь измельчают и тщательно перемешивают, после чего брикетируют на вальцовых прессах. Сырые брикеты проходят термообработку при 700—900° С в течение 1 ч. Упроченные брикеты в горячем состоянии поступают для металлургического передела в реторту совместно с 12—15% крупного кокса. Для брикетирования цинковых руд обычно применяют органические связующие. Дробление цинкового агломерата производится в шековых и конусных дробилках. В качестве смесителей и измельчителей используются бегуны, расположенные в две ступени.

Брикетируют также цинковую раймовку — отход пирометаллургического процесса получения цинка. Раймовка представляет собою шлак, содержащий цинк до 8—14%, углеродистые вещества и ряд цветных металлов (2—3% свинца, 1—2,5% меди и др.). Для брикетирования раймовка дробится до крупности 3—6 мм. В качестве связующих используется известь, цементы, каменноугольный пек и нефтесвязующие. Кроме названных связующих хорошие результаты брикетирования можно получить, применяя кек — отход гидроэлектрометаллургии цинка. Прессование ведется на вальцовых прессах при давлении 30—50 МПа. Сырые брикеты подвергаются термической обработке при высоких температурах.

При выплавке кремния обязательными компонентами металлургической шихты являются древесный уголь и кварциты, которые в процессе передела значительно измельчаются. Для их утилизации с целью последующего использования в металлургической плавке применяют брикетирование. Сырьевая шихта состоит из следующих компонентов: древесный уголь и кварцит крупностью менее 6 мм, молотый нефтяной кокс и древесные опилки. В качестве связующего используется нефтяной пек. Технология брикетирования складывается из нескольких последовательных этапов: сушки шихты при температуре 70—80° С; смешения твердых компонентов с жидким нефтяным пеком при температуре 120—125° С; охлаждение брикетной смеси перед

прессованием, прессования при давлении 30 МПа. Брикеты размером $30 \times 25 \times 20$ мм выдерживают массу до 200 кг. При сбрасывании с двухметровой высоты их прочность составляет более 85%. Брикеты отличаются хорошей пористостью при 1000°C .

Брикетирование применяется для окускования сурьмяных и доломитовых руд, при производстве глинозема, силикоалюминия и силумина, в металлургии магния и др. Глинозем окусковывают путем проминки сырой глины на бегунах и выдавливания ее через отверстия в днище бегунной чаши. Силикоалюминиевое сырье брикетируют совместно с древесным углем и пековым коксом. В шихту перед смешением и прессованием на вальцовом прессе добавляют воду. Брикетирование магния ведут с добавкой бурого угля или торфа при высоких давлениях.

3.4.6. Специальные методы брикетирования руд

Существует ряд новых методов получения брикетов из руд и их концентратов с использованием высокотемпературного обжига сырья и небольших давлений прессования. Эти методы позволяют интенсифицировать металлургический передел, повысить производительность плавильных печей, улучшить качество металла. *Наиболее перспективным считается метод горячего брикетирования без связующего частично восстановленных железорудных концентратов.* Сущность метода заключается в предварительном восстановлении железорудного концентрата до вюстита Fe_xO и его прессовании при температуре около 850°C . Формирование связи между частицами при горячем брикетировании осуществляется за счет энергии пластической деформации и тепловых флуктуаций. Наиболее тесная связь возникает, когда материал имеет плоскости легкого скольжения и симметричную структуру. Этим требованием из оксидов железа (магнетит, гематит и др.) наиболее полно соответствует вюстит. В процессе прессования такое сырье изменяет форму зерен в результате разрушения микрорельефа. Одновременно в дефектной структуре идут дислокации на границе зерен и диффузия. Наилучшие результаты по активизации поверхностей частиц с целью их последующего взаимодействия в горячем состоянии можно достичь путем брикетирования свежевосстановленного до вюстита магнетитового концентрата.

Этот метод считается одним из наиболее прогрессивных направлений получения железорудных материалов для доменной плавки. Качественные брикеты получают из сырья с повышенным содержанием мелочи и железа. Важное условие при этом — сочетание оптимальной доли мелких и крупных классов. Чем больше содержания в руде железа, тем выше плотность упаковки кристаллической решетки и больше размеры кристаллов. Брикеты удовлетворяют металлургическому переделу, если степень восстановления исходной руды до вюстита не ниже 50%.

Положительно на прочность брикетов влияет рост температуры (до 1000°C) и давления прессования (до 70 МПа). Брикеты не разрушаются при транспортировке, обладают высокой водо- и атмосфероустойчивостью. Горячее брикетирование позволяет окусковывать металлизированные продукты, обеспечивать прямое получение железа, утилизировать различные металлургические отходы.

Известны процессы горячего брикетирования железорудных материалов при температурах $450\text{--}550^{\circ}\text{C}$ и давлениях прессования 100—150 МПа. При таких же давлениях, но более высоких температурах ($600\text{--}650^{\circ}\text{C}$) возможно получение высокопрочных брикетов из марганцевой руды.

Разновидностью горячего брикетирования является термобрикетирование топливно-рудного сырья. В этом процессе роль связующего-восстановителя выполняют каменные и бурые угли, торф. Связующая функция последних проявляется в интервале температур, при которых указанные восстановители переходят в пластическое состояние. Для углей эти температуры находятся в пределах $400\text{--}500^{\circ}\text{C}$, для торфа $300\text{--}350^{\circ}\text{C}$. Для улучшения пластического течения углей в шихту добавляют тяжелые продукты угле- или нефтехимической переработки. Термобрикетирование осуществляется при температурах пластического течения связующих-восстановителей и давлениях прессования не выше 50 МПа. Иногда в топливно-рудную композицию вводят флюсы, в частности известь. В этом случае повышается прочность брикетов и появляется возможность снизить до 20—30 МПа давление прессования. Оба этих обстоятельства связаны с активной цементацией известью. Известь при температурах термобрикетирования частично связывается с кремнеземом, образуя прочные гидросиликаты кальция. Брикеты термически устойчивы при высоких температурах металлургической плавки.

Подготовка рудо-топливного сырья к прессованию осуществляется в специальных вихревых камерах. Особенность нагревания в них шихты — высокая степень интенсивного теплообмена. При этом уголь (торф) минимально разлагается, что способствует сохранению его спекающих свойств. Брикетирование нагретых шихт осуществляется на валцовых прессах при давлении прессования 60—70 МПа. Повышение давления не сказывается на прочности брикетов. Однако увеличение времени прессования способствует ее возрастанию.

Термобрикетирование можно сочетать с процессом последующего спекания и прокаливания брикетов. Для этого брикеты нагревают до 600°C и выдерживают при такой температуре до наступления окончательного затвердевания и выделения смолообразных продуктов. Получившийся полукок непрочный. Поэтому его подвергают дальнейшему тепловому воздействию при температурах $750\text{--}800^{\circ}\text{C}$. В результате образуется кокс и пол-

ностью выделяются летучие продукты. На стадиях спекания и прокаливания брикетов очень важным фактором является температурный режим. Температура должна возрасти в пределах 2—5° С в 1 мин. Увеличение скорости нагревания ведет к снижению прочности рудокосковых брикетов из-за повышенной трещиноватости каркаса.

Глава 4

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ БРИКЕТИРОВАНИЯ

Современная брикетная фабрика — это предприятие с большим числом основного и вспомогательного оборудования различной степени сложности. Оборудование производственных цехов отличается высокой производительностью, надежностью в работе, большой технологической эффективностью, компактно и удобно в обслуживании. В большинстве своем оно имеет дистанционное управление и достаточный уровень автоматизации.

По технологическому назначению оборудование брикетных фабрик делится на оборудование отделений дробления и классификации, сушки, подготовки и дозировки связующих, прессования, охлаждения и погрузки брикетов. Особое место во всех основных производственных отделениях занимает аппаратура и оборудование вентиляционных и пылеулавливающих систем.

4.1. ОБОРУДОВАНИЕ ДРОБИЛЬНО-СОРТИРОВОЧНОГО ОТДЕЛЕНИЯ

Основное оборудование дробильно-сортировочных отделений (ДСО) — щековые, конусные, валковые, лопастные и молотковые дробилки. Иногда для подготовки руд применяют шаровые или стержневые мельницы. В ДСО широко используются грохоты различных конструкций с электро- и паровым обогревом сит и дисков. Значительное место в отделении подготовки сырья к брикетированию занимают дозирующие и транспортирующие устройства.

4.1.1. Дробилки

Для крупного дробления применяют валковые, крыльчатые, щековые или конусные дробилки.

Духвалковые зубчатые дробилки типа ДДЗ получили наибольшее распространение для дробления каменных углей и антрацитов. Принципиальная кинематическая схема и техническая характеристика дробилок ДДЗ приведены на рис. 4.1 и в табл. 4.1. Дробилка ДДЗ приводится в движение от электродвигателя 1 через клиноременную передачу 2. На одном конце приводного

Рис. 4.1. Кинематическая схема двух-валковой зубчатой дробилки

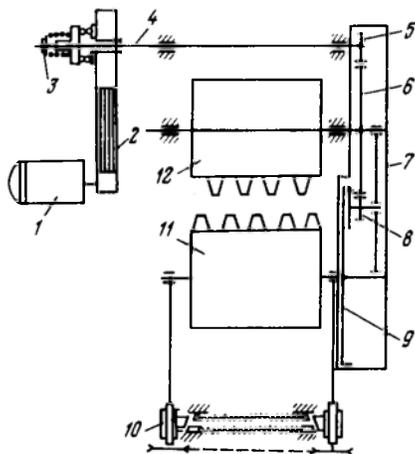
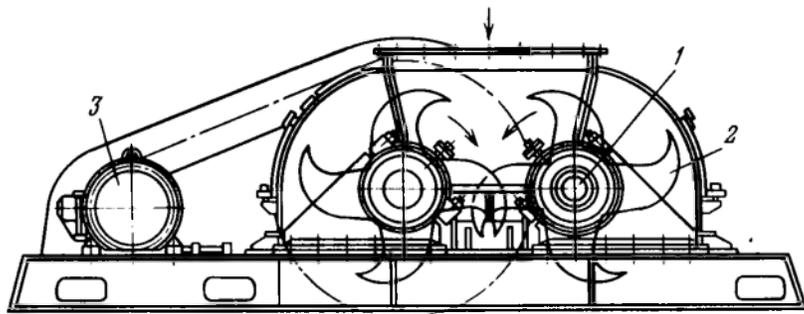


Рис. 4.2. Крыльчатая дробилка



вала 4 находится шариковая муфта 3. Функции последней сглаживать и ограничивать производительность при попадании между валками крупных недробимых предметов. Подвижный 11 и неподвижный 12 валки получают вращение через систему шестерен 5, 6, 8 и 9 от редуктора 7. Исходный материал захватывается вращающимися друг против друга валками с зубчатыми бандажами и дробится. При попадании недробимого предмета подвижный валок 11, связанный с амортизирующим устройством 10, отходит назад. В образовавшуюся щель проваливается посторонний предмет. Затем валок 11 возвращается в исходное положение. Крупность дробленого продукта регулируется зазором между валками и размером зубьев на бандажах.

Производительность (т/ч) валковой зубчатой дробилки определяется по формуле

$$Q = 188 D n L S \delta \mu, \quad (4.1)$$

где D — диаметр валков, м; n — частота вращения валков, мин⁻¹; L — длина валков, м; S — ширина щели между валка-

Таблица 4.1. Технические характеристики двухвалковых зубчатых дробилок типа ДДЗ

Параметры	ДДЗ-4	ДДЗ-6	ДДЗ-10	ДДЗ-16
Диаметр валков, мм	400	630	1000	1600
Длина валков, мм	500	830	1250	2000
Крупность материала, мм: загружаемого	100×200× ×300	400×500× ×600	400×600× ×1000	1200× ×1300× ×1300
дробленого	0—25 0—50	0—50 0—100	0—100 0—200	0—200 0—300
Частота вращения валков, мин	60	50	35	41
Производительность, т/ч	20—100	60—150	125—525	600—1000
Мощность электродвигателя, кВт	13	20	40	250
Габаритные размеры, мм:				
длина	2600	3520	5000	7465
ширина	2500	3270	4375	7985
высота	925	1235	1750	2607
Масса, т	4,3	9,9	23,5	107,6
Завод-изготовитель	Ясиноватский машзавод (Донецкая обл.)			

ми, m ; δ — плотность материала, t/m^3 ; μ — коэффициент разрыхления материала.

Крыльчатая дробилка (рис. 4.2, табл. 4.2) предназначена для дробления бурых углей. Она состоит из двух вращающихся с различной частотой навстречу друг другу валков 1 с ножевыми крыльцеобразными бивнями 2. Воздействие последних на бурый уголь приводит к его разрушению. Каждый валок имеет самостоятельный привод от электродвигателя 3 с клиноременной передачей.

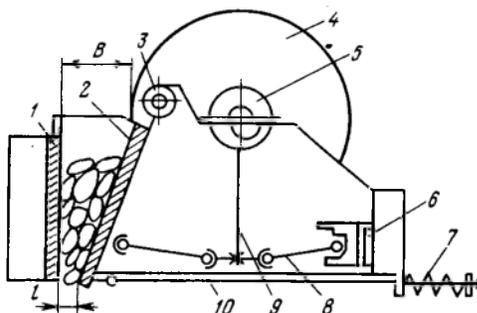
Таблица 4.2. Технические характеристики крыльчатых дробилок

Параметры	Типоразмер		
	I	II	III
Наружный диаметр дробильной лопасти, мм	630	800	1000
Ширина валка, мм	1250—1600	1250—1600	1250—1600
Крупность материала, мм:			
исходного	0—400	0—600	0—800
дробленого	0—200	0—250	0—250
Производительность, т/ч	360—400	550—400	620—800
Мощность электродвигателя, кВт	16	24	33
Масса, т	6,4	8,4	9,2
Завод-изготовитель	«Цемаг», ГДР		

Щековые дробилки (рис. 4.3, табл. 4.3) в основном используются на рудных брикетных фабриках. Они работают по сле-

Рис. 4.3. Кинематическая схема щековой дробилки:

1, 2 — неподвижная и подвижная щеки; 3 — ось подвеса подвижной щеки; 4 — маховик; 5 — эксцентриковый вал; 6 — устройство регулирования ширины разгрузочной щели; 7 — пружины замыкающего механизма; 8 — распорная плита; 9 — шатуны; 10 — тяга замыкающего механизма



дующему принципу. Подвижная щека 2 поворачивается вокруг своей оси 3 на небольшой угол под воздействием эксцентриково-шатунного механизма (4—10), совершая простые возвратно-поступательные движения. При этом она приближается и удаляется от неподвижной щеки 1. Материал, попавший в рабочую зону, подвергается раздавливающим усилиям щек и дробится.

Таблица 4.3. Технические характеристики щековых дробилок ЩДП

Параметры	ЩДП-9×12	ЩДП-12×15	ЩДП-15×21
Максимальный кусок в исходном материале, мм	750	1000	1300
Ширина разгрузочной щели, мм	130—180	150—250	180—280
Частота вращения, мин ⁻¹	200	150	125
Производительность, м ³ /ч	180	310	550
Мощность электродвигателя, кВт	90	160	250
Масса, т	74	142	249
Завод-изготовитель	«Волгоцеммаш» (Тольятти)		

Производительность (т/ч) щековых дробилок можно рассчитать по формуле

$$Q = 0,15 \mu \delta n d b l, \quad (4.2)$$

где μ — коэффициент разрыхления материала; δ — плотность материала, т/м³; n — число качаний щеки, мин⁻¹; d — средний размер куса материала; m ; b — длина рабочей камеры, м; l — ход щеки, м.

Для мелкого дробления угля применяются молотковые или роторные дробилки, для руд — конусные.

Молотковая дробилка (рис. 4.4, табл. 4.4) состоит из корпуса 8, имеющего верхнюю 3 и нижнюю 1 части. Вал 14 с дисками 12 образует ротор 11, который установлен в подшипниках 15. Через диски 12 пропущены стержни 13, на которых висят молотки 5. Внутри дробилка футерована плитами 2, 4, 6, 7. Для осмотра дробилки имеются люки 9. Уголь поступает в дробилку

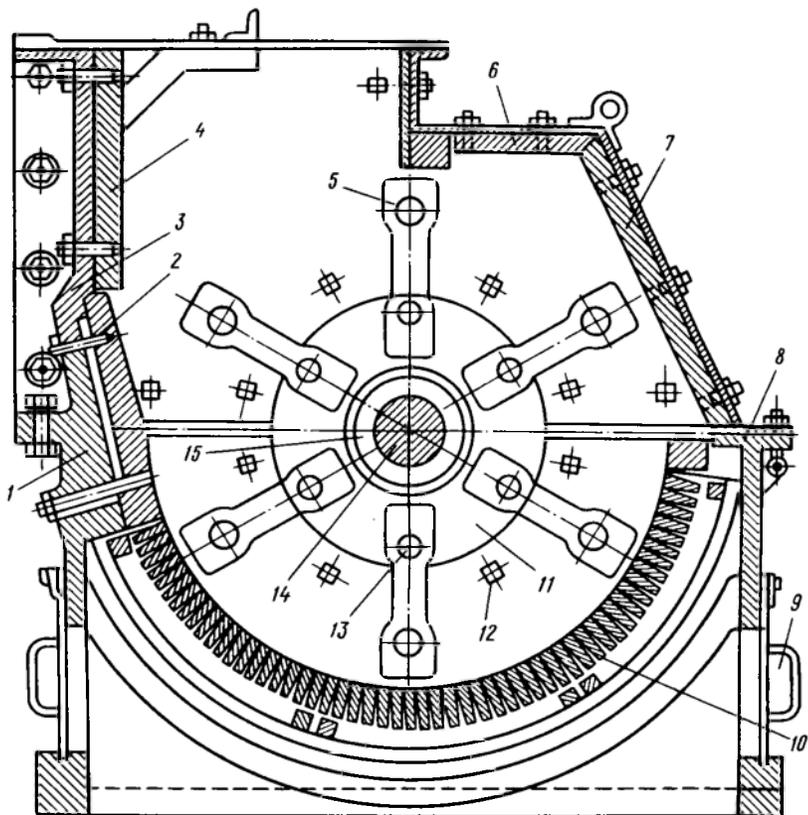


Рис. 4.4. Молотковая дробилка

и молотками вращающегося ротора раздробляется в пространстве дробильной плиты 7. Мелкий уголь просеивается через сито 10, а недробленный возвращается вновь в пространство, ограниченное дробильной плитой и молотками.

Производительность (т/ч) молотковой дробилки определяется по формуле

$$Q = \frac{kLDn^2}{3600(S-1)}, \quad (4.3)$$

где k — коэффициент, зависящий от конструкции дробилки и твердости материала; L — длина ротора, м; D — диаметр наружной окружности вращения молотков, м; n — частота вращения ротора, мин⁻¹; S — степень измельчения.

Конусные дробилки для мелкого дробления КМД (рис. 4.5, табл. 4.5). Дробилка КМД состоит из станины 2, имеющей в

Таблица 4.4. Технические характеристики молотковых дробилок

Параметры	М-6-4Б	М-8-6Б	М-13-16Б
Крупность угля, мм:			
исходного	150	250	400
дробленого	0—30	0—13	0—10
Частота вращения ротора, мин ⁻¹	1250	1000	735
Производительность, т/ч	12—15	18—24	200
Мощность электродвигателя, кВт	17	55	250
Габаритные размеры, мм:			
длина	1100	1350	2400
ширина	1031	1255	2800
высота	1151	1230	1900
Масса, т	1.37	2.24	16.0
Завод-изготовитель	«Строммашина» (Ухолово, Рязанская обл.)		

центре цилиндрический стакан *1*, внутри которого вращается эксцентриковый стакан *12*. Сверху на амортизаторах *3* установлена коническая чаша *4*. Внутри ее расположен дробящий конус *5*, опирающийся на сферический подшипник *7*. Вал *8* нижним концом входит в гнездо стакана *12*. При вращении последнего он совершает круговые движения внутри чаши *4*. Стакан *12* приводится в движение от электродвигателя через муфту *9*, приводной вал *10* и конические шестерни *11*. Загрузка дробилки осуществляется с помощью распределительной тарелки *6*. При приближении конуса *5* к чаше *4* происходит дробление.

Таблица 4.5. Технические характеристики конусных дробилок типа КМД

Параметры	КМД-1750	КМД-2200	КМД-3000
Диаметр поднижнего конуса, мм	1750	2200	3000
Производительность, м ³ /ч	5	160	350
Крупность материала, мм:			
исходного	70	5	100
дробленого	5-15	5-15	6--20
Частота вращения конуса, мин ⁻¹	160	242	185
Мощность электродвигателя, кВт	160	250	400
Масса, т	49	91	212
Завод-изготовитель	«Уралмаш» (Свердловск)		

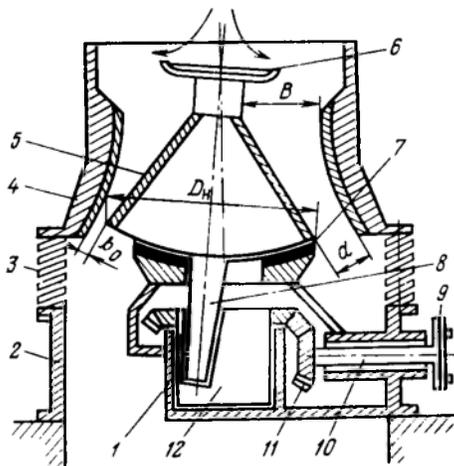


Рис. 4.5. Принципиальная схема конусной дробилки

Производительность (т/ч) конусных дробилок определяется по формуле

$$Q = 0,34\mu\delta D_n d \eta n (\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha_2), \quad (4.4)$$

где μ — коэффициент разрыхления материала; δ — плотность материала, кг/м^3 ; D_n — диаметр нижнего основания дробящего конуса, см; d — ширина разгрузочного отверстия, см; η — эксцентриситет дробящего конуса, см; n — частота вращения эксцентрикового вала, мин^{-1} ; α_1 и α_2 — углы наклона неподвижного и дробящего конусов, градус.

Шаровые и стержневые мельницы применяют для тонкого измельчения материала (табл. 4.6). Мельница представляет собой вращающийся цилиндрический барабан, наполненный дробящими телами-шарами или стержнями. Загружаемый продукт в мельнице подвергается ударному воздействию дробящих тел. В результате за время пребывания в мельнице материал измельчается до требуемой крупности.

Таблица 4.6. Технические характеристики мельниц

Параметры	МСП-12×24	МШЦ-15×30	МШЦ-21×300
Внутренний диаметр барабана, мм	1200	1500	2100
Длина барабана, мм	2400	3000	3000
Рабочий объем барабана, м ³	2	4,2	8,5
Частота вращения барабана, мин ⁻¹	28	28	24
Крупность материала, мм:			
исходного	До 40	До 15	До 15
измельченного	0,2—2,5	0,2—2,8	0,2—2,8
Мощность электродвигателя, кВт	40	100	200
Масса, т	14	23	50
Завод-изготовитель	НКМЗ (Краматорск)		

Производительность (т/ч) мельниц ориентировочно можно определить по следующей формуле:

$$Q = 0,28kD^{2,5}L, \quad (4.5)$$

где k — коэффициент измельчаемости материала; D — диаметр барабана, м; L — длина барабана, м.

4.1.2. Грохоты

Для крупного грохочения углей применяют валковые грохоты.

Валковый грохот (рис. 4.6) представляет собой установку, состоящую из слегка наклонной рамы 4. На ней параллельными рядами размещены вращающиеся валки 1 с эксцентрично насаженными на них круглыми или фигурными дисками 2. Движение валков от привода грохота 5 осуществляется через зубчатую передачу 3. Расстояние между дисками соответствует раз-

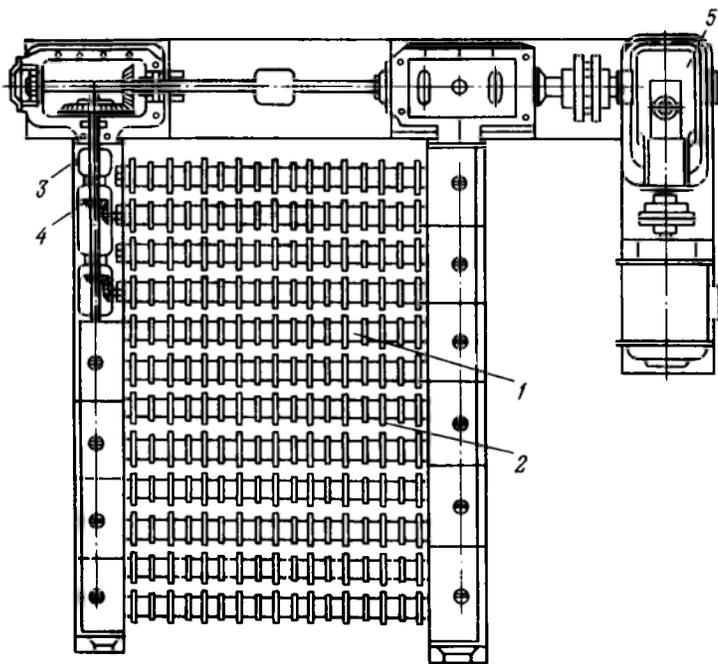


Рис. 4.6. Валковый грохот (вид сверху)

меру отверстий просеиваемого материала. Оно обычно находится в пределах 30—80 мм. Движение и рассев материала на грохоте осуществляются за счет его наклонного расположения и вращения дисков. Удельная производительность грохота в зависимости от влажности угля составляет для бурых и каменных углей соответственно 80—90 и 100—120 т/ч на 1 м² просеивающей поверхности. Для очистки дисков от налипшего угля используют пластины-очистители, которые верхним концом входят в зазор между дисками.

Колосниково-трубчатые грохоты с паровым обогревом могут быть применены для классификации влажных полезных ископаемых. Эти грохоты относятся к категории стационарных просеивающих поверхностей. Трубы расположены поперек короба на расстоянии требуемой крупности отсева. В трубы подается пар. Угол наклона сита грохота 40—50°.

На шнековых грохотах типа ГШ может быть осуществлен эффективный рассев высоковлажных углей и антрацитов. Грохот ГШ представляет собой разновидность валкового грохота. У него валки выполнены в виде шнеков с двухзаходной правой и левой навивками витков. Грохот комплектуется из нескольких секций-каскадов одинакового исполнения. Такое расположение

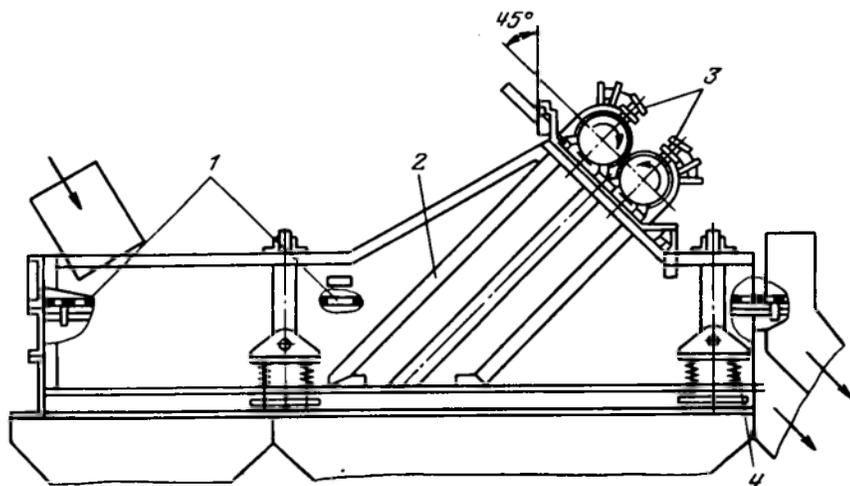


Рис. 4.7. Грохот ГИСЛ

секций в сочетании с высокой частотой вращения валков-шнеков обеспечивает высокую эффективность грохочения.

Для мелкого грохочения каменных углей и руд применяют инерционные грохоты типа ГИЛ, ГИСЛ и резонансные.

Грохот ГИЛ (табл. 4.7) состоит из корпуса, вибровозбудителя, пружинных опор (подвесок) и электродвигателя. Грохот устанавливается наклонно к горизонту и вибрирует в вертикальной плоскости под действием вращающихся дебалансов. Вибровозбудитель приводится в движение клиноременной передачей от электродвигателя. При работе вибровозбудителя материал, находящийся на грохоте, встряхивается, продвигается вперед и просеивается сквозь сито. Грохоты ГИТ имеют аналогичную конструкцию.

Грохоты типа ГИСЛ (рис. 4.7, табл. 4.7) с самосинхронизирующимся вибровозбудителем являются более совершенными инерционными грохотами. Короб грохота 2 с ситами 1 устанавливается на четырех опорах 4 (или подвесках). Колебательные движения он получает от привода, который вызывает вращение в противоположные стороны эксцентриковых грузов (дебалансов). Последние устанавливаются на двух параллельных валах вибровозбудителя 3.

Хорошо зарекомендовал себя при расसेве влажных материалов грохот ГЭДП с эластичной упругодеформируемой просеивающей поверхностью.

Производительность инерционных и резонансных грохотов определяется так же как валковых грохотов, но с учетом коэффициентов, оценивающих влияние granulометрического состава, угла наклона грохота, типа просеивающей поверхности и др.

Таблица 4.7. Технические характеристики грохотов ГИЛ и ГИСЛ

Параметры	ГИЛ-32	ГИЛ-42	ГИЛ-52
Крупность материала, мм	0- 100	0- 150	0-150
Частота колебаний сит, мин ⁻¹	1200	900- 1000	900 -1000
Амплитуда колебаний сит, мм	2,5	3-3,5	2,5 -3
Угол наклона сит, градус	10- 25	10-25	10-25
Мощность электродвигателя, кВт	4,5	10	10
Габаритные размеры, мм:			
длина	3077	4295	5050
ширина	1674	2860	3100
высота	1640	2710	2910
Масса	1,5	3,1	3,5
Завод-изготовитель	Машзавод им. Пархоменко (Ворошиловград)		

Продолжение табл. 4.7

Параметры	ГИСЛ-51	ГИСЛ-62	ГИСЛ-72
Крупность материала, мм	0- 200	0- 300	0-300
Частота колебаний сит, мин ⁻¹		735	735
Амплитуда колебаний сит, мм		6	6
Угол наклона сит, градус	0- 25	0-25	0-25
Мощность электродвигателя, кВт		17×2	22×2
Габаритные размеры, мм:			
длина		5670	6980
ширина		2700	3720
высота		2690	2500
Масса		8,7	11,6-12,7
Завод-изготовитель	Машзавод им. Пархоменко (Ворошиловград)		

4.1.3. Вспомогательное оборудование

К вспомогательному оборудованию ДСО относится оборудование, обеспечивающее загрузку и выгрузку полезных ископаемых в аккумулирующие бункера и резервные склады, дозировку сырья. Вспомогательным оборудованием считается аппаратура приточно-вытяжной вентиляции.

Для транспортирования полезных ископаемых применяют стационарные и передвижные реверсивные ленточные конвейеры со скоростью движения и шириной ленты соответственно 0,9-2,7 м/с и 1000-1600 мм. Иногда материал распределяется по бункерам с помощью скребковых конвейеров закрытого исполнения типа КСГС с шириной скребков 600-1200 мм и скоростью движения цепи 0,5-0,6 м/с.

Для выгрузки материала из бункеров и складов применяют пластинчатые, качающиеся, вибрационные, лопастные и другие питатели.

Пластинчатые питатели (табл. 4.8) представляют собой

Таблица 4.8. Технические характеристики пластинчатых питателей

Параметры	Легкого типа		Тяжелого типа	
	ПЛ-8	ПЛ-12	ПТ-18	ПТ-24
Ширина полотна, м	800	1200	1800	2400
Скорость движения полотна, м/с	0,16—0,4	0,16—0,4	0,06—0,16	0,06—0,16
Угол наклона, градус	0—25	0—25	0—15	0—15
Производительность, т/ч	180—500	410—1100	300—400	500—800
Мощность электродвигателя, кВт	3—17	3—30	16—75	16—75
Масса, т	3,9—9,6	5,6—14,1	42,3—84,1	46,5—63,2
Завод-изготовитель	Машзавод им. Пархоменко (Ворошиловград)		Завод тяжмаш (Электросталь)	

уменьшенных размеров цепь скребкового конвейера, к которой скребки — пластины прикреплены шарнирно. Это позволяет образовать сплошное полотно из лежащих внахлестку на цепи скребков.

Таблица 4.9. Технические характеристики качающихся питателей

Параметры	КД	КТ
Ход лотка, мм	0—200	0—240
Число двойных ходов лотка в 1 мин	70—48	36
Производительность, м ³ /ч	275—2000	55—650
Мощность электродвигателя, кВт	3—55	4—55
Масса, т	0,8—14	0,7—10,5
Завод-изготовитель	Машзавод горно-шахтного оборудования (Пермь) и машзавод им. Никольского (Новочеркасск)	

Качающиеся питатели (табл. 4.9) представляют собой плоскость, опирающуюся на четыре катка, совершающую возвратно-поступательное движение. По бокам и сзади рабочая плоскость питателя ограждена металлическими листами, предотвращающими рассыпание материала.

Вибрационный питатель представляет собой металлический лоток, на котором сзади закреплен один или два вибровозбудителя с электромагнитным приводом. Производительность вибрационных питателей находится в пределах 90—500 м³/ч.

Дисковые питатели — это металлическая тарелка диаметром 2000 мм, вращающаяся с частотой, близкой к 9 мин⁻¹, на вертикальном валу. По периферии диска устанавливаются отбойники высотой до 300 мм для предотвращения рассыпания материала.

Унифицированные дозаторы непрерывного действия применяются для дозировки материала из бункеров. Они представляют

собой систему вибрационного питателя и ленточного автоматического дозатора с дистанционным показанием масс. Производительность этих дозаторов колеблется от 60 до 200 т/ч.

Передвижные лопастные питатели также широко применяют на буроугольных брикетных фабриках (табл. 4.10). Они состоят из передвижной тележки, на которой смонтировано лопастное колесо, вращающееся на вертикальном валу. Привод тележки и лопастного колеса раздельный. Частоту вращения лопастного колеса можно варьировать.

Т а б л и ц а 4.10. Технические характеристики лопастных питателей

Параметры	Тип питателя		
	20	25	28
Диаметр лопасти, мм	2000	2500	2800
Частота вращения лопасти, мин ⁻¹	11,2 1,1	9,2—2,1	9,2 2,1
Ширина колеи тележки, мм	1400	1800	2000
Производительность, т/ч	350	630	1000
Мощность электродвигателя, кВт:			
колеса	9,5	14	17
тележки	2,0	3,5	3,5
Масса, т	7,0	10,0	11,0
Завод-изготовитель	«Цемаг», ГДР		

4.2. СУШИЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

В зависимости от вида сушильного агента сушилки могут быть газовые и паровые.

4.2.1. Газовые сушилки

Основными типами газовых сушилок являются барабанные сушилки, трубы-сушилки и сушилки в «кипящем слое».

Барабанные сушилки (рис. 4.8) представляют собой сложную систему, состоящую из топки, сушильного барабана, аппаратуры пылеулавливания и дымососа. Сушильный барабан — это полый сварной цилиндр, расположенный под углом 3—4 градуса, внутри которого размещена насадка. В загрузочной части барабан венчает запорное кольцо, которое препятствует выпаданию из него сырого материала. Корпус сушильного барабана приводится во вращение через шестеренчатый обод, расположенный на его наружной поверхности. Барабан вращается на двух бандажах и двух парах опорных катков с частотой 6—7,5 мин⁻¹. Материал, находящийся во вращающемся барабане, рассыпается каскадами по всему его объему, смываясь горячими газами. Для лучшего соприкосновения газов с материалом и его разрыхления в барабане устанавливают подъемно-лопастные и цепные системы различных конструкций. Высушенный материал попадает в разгрузочную камеру. Ее нижняя часть по

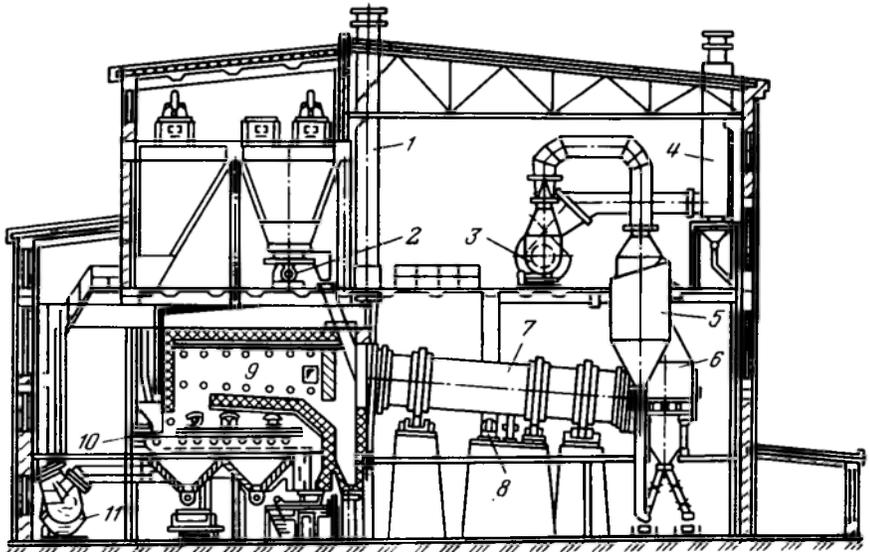


Рис. 4.8. Барабанная газовая сушилка в общей компоновке сушильного отделения:

1 — растопочная труба; 2 — дозатор сырого угля; 3 — дымосос; 4 — мокрый пылеуловитель; 5 — циклон; 6 — разгрузочная камера; 7 — сушильный барабан; 8 — привод барабана; 9 — топка; 10 — механическая топочная решетка; 11 — вентилятор холодного дутья

объему должна быть равной объему одновременно находящегося в барабане материала. Это диктуется условиями безопасной работы, требующими полной выгрузки материала из барабана при остановке.

Техническая характеристика барабанной сушилки

Диаметр барабана, м	2,8
Длина барабана, м	14
Объем сушильного пространства, м ³	86
Частота вращения барабана, мин ⁻¹	5
Мощность электродвигателя, кВт	35
Масса, т	70
Производительность, т/ч:	
по испаренной влаге	До 5
по исходному углю	До 50

Напряжение барабанной сушилки по испаренной влаге — основной показатель термической сушки находится в пределах 5—20 т/ч. Этот показатель зависит от ряда факторов: типа внутренних устройств барабана (цепи, насадки, решетки и др.); степени заполнения его объема; частоты вращения и угла наклона; физических свойств, влажности и крупности сырого материала; температуры и скорости теплоносителя. Удельный расход тепла и электроэнергии в барабанных сушилках на 1 т

испаренной влаги колеблется в пределах 4000—5000 кДж/кг и 20—30 кВт/ч. Производительность сушильных барабанов зависит от подсоса воздуха в сушильный тракт, который не должен превышать 20—30%. Продолжительность сушки в барабанных сушилках составляет 15—40 мин при коэффициенте заполнения объема барабана от 0,15 до 0,25. Скорость движения горячих газов на выходе из барабана не должна превышать 1—3 м/с. Основные преимущества барабанных сушилок: большая производительность; возможность регулирования процесса сушки с целью обеспечения требуемой влажности; надежная эксплуатация. Недостатки: большие габариты сушилок, сложность изготовления, высокая стоимость оборудования и монтажа.

Труба-сушилка (см. рис. 3.2) представляет собой вертикальную металлическую трубу диаметром от 900 до 1400 мм длиной 15—40 м. Сушка в трубе-сушилке осуществляется в условиях конвективного теплообмена. Сущность его заключается в том, что тепло к материалу подводится от горячих газов, которые постепенно омывают взвешенные частицы угля. Последнее обстоятельство обусловлено аэродинамическим взаимодействием движущихся частиц с газовым потоком. Влажный материал, попадая в поток горячих газов, поднимается и практически мгновенно (в течение 5 с) высушивается. Сухой материал выгружается в проходных сепараторах или циклонах. Пылевая фракция с отработанным сушильным агентом проходит стадию очистки через систему пылеулавливающих устройств. Скорость газовых потоков в трубе должна быть такой, чтобы все частицы, забрасываемые в трубу, поднимались вверх. Поэтому она должна соответствовать или быть несколько выше скорости витания частиц. В тех случаях, когда скорость движения газового потока в трубе ниже скорости витания или когда в материале много крупных частиц, происходит интенсивное выпадение сырого продукта в провал.

Преимущества труб-сушилок в сравнении с другими сушилками следующие: малые капитальные затраты на строительство; кратковременность пребывания материала в трубе, способствующая созданию высокотемпературного процесса сушки. Недостатки: большой расход электроэнергии и сложная пылеулавливающая система.

Производительность труб-сушилок по сырому материалу и испаренной влаге при влажности исходного материала 10—15% и высушенного продукта 2—3% составляет соответственно 25—80 и 3—7 т/ч. Температура газов на входе в трубу-сушилку равна 90—120°С. Расход электроэнергии и тепла на 1 т испаренной влаги находится соответственно в пределах 35—60 кВт/ч и 4000—5000 кДж/кг. Скорость газов в трубе-сушилке составляет 10—40 м/с. Она зависит от присоса воздуха в сушильный тракт. Присос воздуха снижает интенсивность движения сушиль-

ного агента, увеличивает расход электроэнергии и объем газов, идущих через систему пылеулавливания и дымосос. Особенно велики присосы воздуха через узел провала. Для герметизации последнего применяют гидрозатворы, барабанно-скребковые питатели и другие аппараты.

Сырой материал перед поступлением в трубу-сушилку дозируется двухдисковыми тарельчатыми питателями П2ДШ или скребковыми питателями ПСБ (табл. 4.11). Подача его непосредственно в сушилку осуществляется цепным питателем-забрасывателем типа ЦП. Система дозатор-забрасыватель (рис. 4.9) является узлом загрузки трубы-сушилки.

Сушка в «кипящем слое» (см. рис. 3.4) описана в разд. 3.1.1. Площадь решетки «кипящего» слоя составляет 5—30 м². Решетку изготавливают из перфорированного прочного, термо- и коррозионностойкого металла с живым сечением 10% и более. Отверстия решетки не превышают 3—5 мм. Иногда решетку выполняют из металлических прутьев диаметром 16—20 мм. Решетка закрепляется на жестких поддерживающих балках таким образом, чтобы максимально сохранить ее живое сечение.

Таблица 4.11. Техническая характеристика питателя

Параметры	П2ДШ-250	П2ДШ-310	ПСБ-28	ПСБ-35
Диаметр нижнего диска, мм	2500	3100	—	—
Крупность исходного материала, мм	0—3(6)	0—3(6)	0—13	0—13
Частота вращения, мин ⁻¹	1500	1500	1000	1500
Производительность, т/ч	30—100	40—150	40—120	100—300
Мощность электродвигателя, кВт	22	22	10	22
Масса, т	10,6	11,7	8,0	11,2
Завод-изготовитель	Завод горно-шахтного оборудования (Днепропетровск)		Машзавод им. Пархоменко (Ворошиловград)	

Техническая характеристика сушилки в «кипящем слое»

Производительность, т/ч:	
по исходному материалу	До 100
по испаренной влаге	До 8—10
Влажность, %:	
начальная	До 12
конечная	2—3
Сопротивление слоя и решетки, кПа	3,5—4
Разрежение перед дымососом, кПа ..	8
Температура, °С:	
теплоносителя	600—800
материала	65—75
запыленных газов	60—70

Для газовых сушилок применяют топки, работающие на угле, жидком и газообразном топливе. Наиболее широко распростра-

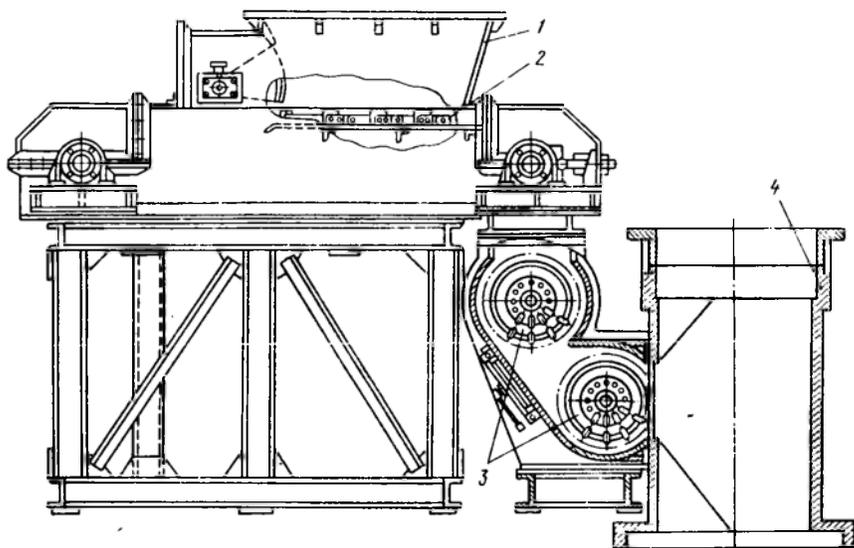


Рис. 4.9. Узел загрузки трубы-сушилки:
 1 бункор; 2 питатель ПСБ; 3 питатель ЦШ. 4 труба-сушилка

нены угольные слоевые топки с цепной решеткой типа БЦР и ТЧ. Горение топлива в топке с беспровальной (БЦР) или чешуйчатой (ТЧ) решеткой начинается с поверхности, постепенно проникая в толщу угольного слоя. Решетки БЦР и ТЧ выпускаются восьми типоразмеров шириной от 2330 до 4550 мм, длиной 5600—8000 мм и площадью от 11 до 33 м².

Факельно-слоевые топки бывают с чешуйчатым колосниковым полотном и с шурующей планкой. Первые выпускаются четырех типов со следующей активной площадью: 9,09; 13,4; 15,3; 19,3 м². Эти топки обеспечивают устойчивое горение неспекающихся углей при зольности не более 30—35%, содержании угольной мелочи (класс 0—6 мм) до 70% и максимальной крупности 30 мм. Топки с шурующей планкой при интенсивной шуровке угольного слоя способны эффективно сжигать высокозольные угольные смеси неспекающихся и спекающихся марок.

Пылеугольные топки с молотковыми мельницами типа ММА и ММТ применяют для сжигания низкосольных углей с выходом летучих веществ 30% и более. При скорости аэросмеси углей и воздуха в шахте мельницы 4—4,5 м/с обеспечивается устойчивый факел горения в центре топки.

Топки оборудуются растопочной трубой, отсасывающей 40—50% газов; диаметр растопочной трубы не превышает 0,7—0,8 м. Для удаления золы из топки применяются чаще всего скребковые конвейеры, расположенные в водяной ванне.

В газовых сушилках применяется трехступенчатая система пылеулавливания. На первой ступени выделяются крупные частицы материала, которые улавливаются в *циклонах* и *разгрузочных камерах*, производительностью по объему проходящих горячих газов 100—250 тыс. м³/ч. Эффективность улавливания в этих аппаратах составляет 93—98%. На второй ступени для очистки газов применяют *батареиных циклонов типа ПБЦ, БПР, БЦУ* и др. Эти пылеуловители имеют производительность от 50 до 100 тыс. м³/ч, эффективность пылеулавливания — 90—99%, аэродинамическое сопротивление 800—2000 Па. Для выгрузки материала из пылеуловителя используются лопастные разгрузчики, вращающиеся от индивидуального электромеханического привода. Выгрузка пылевого продукта из пылеуловителей второй ступени осуществляется, как правило, с помощью конусных мигалок. По высоте устанавливаются две мигалки: одна вблизи бункера пылеуловителя, другая возле транспортирующего устройства. Более подробно об аппаратах пылеулавливания сушильных установок см. гл. 3, гл. 4 и гл. 5.

На третьей ступени устанавливают мокрые пылеуловители (табл. 4.12) *типа центробежных скрубберов ЦС-ВТИ, аппаратов МП-ВТИ с четырехрядной плужковой решеткой, прамоточных уловителей МПР с орошаемой решеткой и гидрозатвором на нисходяще-восходящем участке (колена) газохода.*

Т а б л и ц а 4.12. Технические характеристики мокрых пылеуловителей

Параметр	ЦС-ВТИ	МП-ВТИ	МПР
Производительность, тыс. м ³ /ч	75	75—150	75—150
Эффективность пылеулавливания, %	90	92	97
Расход воды, л/м ³	0,15	0,15	0,15
Аэродинамическое сопротивление, Па	950	1000	1600

В тех случаях, когда по условиям технологии брикетной фабрики мокрые пылеуловители не могут быть применены, используют рукавные и электрические фильтры.

Рукавный фильтр РФГ-V состоит из 20 секций, оборудованных 280 рукавами. Общая фильтрующая поверхность равна 560 м², длина и диаметр рукава составляют соответственно 3,1 и 0,22 м. Общая мощность установленных электродвигателей 17,2 кВт, масса фильтра 33,7 т. Фильтр работает в периодическом режиме. Длительность одного рабочего цикла 10 мин. Для фильтрации используется специальная термостойкая синтетическая ткань «Нитрон», которой обтягивают каркас рукавов.

Электрофильтры применяют в основном для улавливания тонкой пыли на буроугольных и рудных брикетных фабриках. Принцип работы электрофильтров основан на зарядке взвешенных частиц пыли в ионизированной газовой среде и последующем

их осаждении на электроде противоположного заряда. На брикетных фабриках эксплуатируются электрофильтры типа УГВ с площадью рабочего сечения камеры 9,9 и 12,2 м². Производительность электрофильтров при концентрации пылегазовой смеси 25—30 г/м³ составляет 18—22 тыс. м³/ч. Активная длина коронирующих электродов составляет 650—800 м. Число осадительных электродов не превышает 10—12 шт. Габаритные размеры: длина, ширина, высота — 5000×5000×18000 м. Масса 46—52 т.

Движение воздуха по сушильным трактам осуществляют с помощью дымососов типа Д-13,5; Д-15,5; Д-18 и Д-20 подачи соответственно 30; 45—55; 65—90; 100—125 тыс. м³/ч и давлением 0,9; 1,5—2,3; 1,46—3,1; 2,5—3,9 кПа.

4.2.2. Паровые сушилки

К основным типам паровых сушилок относятся трубчатая барабанная и тарельчатая сушилки. Их применяют главным образом на буроугольных брикетных фабриках, кроме того они могут быть использованы для сушки любых мелкозернистых полезных ископаемых, если на фабрике имеется большое паровое хозяйство.

Трубчатая барабанная сушилка (рис. 4.10, табл. 4.13) представляет собой цилиндрический, расположенный наклонно (угол 7—12°), вращающийся барабан 1 диаметром 2,5—5 м и длиной 7—8 м. На торцах барабана закреплены трубные решетки 10 и 14, в которые ввальцованы сушильные трубки 12 с внутренним диаметром 95—108 мм. Сушильные трубки распределены равномерно по шести секторам всей поверхности трубной решетки.

Таблица 4.13. Технические характеристики паровых трубчатых барабанных сушилок

Параметры	Типоразмер		
	3×8	4×8	5×8
Размеры барабана, мм:			
диаметр	3140	3990	5240
длина	7990	7990	7990
Длина сушильных трубок, мм	8000	8000	8000
Число трубок, шт	600	876	1581
Поверхность нагрева, м ²	1325	2230	4030
Частота вращения, мин ⁻¹	4,2 и более (до 11,2)		3—9
Производительность по высушенному продукту, т/ч	8,5	14	26
Мощность электродвигателя, кВт	10	17,5	22
Масса, т	65	120	190

Осью барабана служит центральная труба 13, концы которой закреплены в муфтах 19, жестко соединенных с трубными решетками. Муфты имеют полые цапфы, вращающиеся в опорных подшипниках 5 и 17. К передней трубной решетке крепится зубчатый венец 20, с помощью которого осуществляется вращение барабана сушилки.

материал. В результате совместного действия скребков, материал по тарелке постепенно перемещается от центра к периферии. Затем через окна 5 у кромки тарелки материал сбрасывается на нижнюю тарелку и движется по ней в обратную сторону. Дойдя до внутренней кромки тарелки, он проваливается через окна на следующую тарелку и т. д. Дойдя до последней тарелки, материал успевает полностью высушиться и выгрузиться с нижней тарелки через шлюзовый затвор.

В тарельчатых сушилках для сушки бурых углей одна из тарелок сделана в виде сита, над которым посередине штанг устанавливаются валки-бегуны 3 для измельчения крупных частиц. Поступающий на эту тарелку уголь проваливается на ниже расположенную тарелку. У нее скребки с внутренней половины перемещают уголь к центру, а с наружной — к периферии. Просеянная мелочь движется по этой тарелке к центру и через вращающуюся воронку 2 сбрасывается на следующую тарелку. Неизмельченный уголь попадает на периферийную часть нижележащей тарелки и досушивается, постепенно опускаясь вниз. Каждая тарелка снаружи и изнутри обтянута бортовым кольцом, выступающим над поверхностью тарелки на 100—120 мм. Бортовой выступ предохраняет материал от просыпания из тарелки.

Снаружи сушилка имеет металлический кожух с дверцами по сторонам. Во время работы дверцы приоткрываются для поступления воздуха в сушилку. Сбоку по всей высоте к сушилке примыкает вертикальный желоб, переходящий в вытяжную трубу. Последняя связана с электрофильтром для улавливания пыли, выносимой из сушилки с паровоздушной смесью. К колоннам сушилки крепятся парораспределительные и конденсато-сборные гребенки для подачи в тарелки пара и отвода конденсата.

У сушилок с тарелками большого диаметра (3800 мм и более) последние состоят из двух полутарелок, имеющих четыре сектора. Для таких тарелок подача пара и отвод конденсата производятся с двух диаметрально расположенных гребенок. Тарелки изготовляются из листовой стали толщиной 8—10 мм. Внутри полутарелки или сектора располагаются направляющие полосы для лучшего распределения пара по площади. Количество потребляемого тепла в верхних тарелках большее, чем в нижних. Для достижения оптимальных условий сушки тарелки по высоте группируются в несколько секций. Свежий пар подается в верхнюю секцию, составляющую около половины всех тарелок, где частично конденсируется. Затем освободившись от конденсата, пар проходит остальные секции.

На внутренней стороне обода зубчатого венца сделаны углубления — улавливающие карманы. Они служат для подхватывания угля, просыпающегося с погрузочных полос основного загрузочного устройства при вращении барабана. Венец находится в зацеплении с зубчатой шестерней 21 привода сушилки. Пар в сушилку подается по трубе 18 через полулю цапфу подшипника 17 и центральную трубу 13. Последняя имеет отверстие, связанное с межтрубным пространством. Конденсат собирается в нижней части барабана в конденсато-сборниках 2. Из них он отводится через s-образные трубки 7 и полулю цапфу подшипника в трубу 4.

Материал из бункера питания 15 по течке 16 с шиберным затвором самотеком поступает в основное загрузочное устройство сушилки. В общем виде оно представляет систему, состоящую из камеры и нескольких наклонно расположенных пластин. Пластины с небольшим зазором примыкают к передней трубной решетке. Внизу камера заканчивается секторным затвором, предотвращающим поступление материала при остановке сушилки. Исходный продукт с пластин поступает на движущуюся трубную решетку и далее в сушильные трубки. Для более полной загрузки периферийных трубок загрузочные пластины имеют наклон в сторону внешнего обода барабана и расположены одна за другой. Такая конструкция позволяет материалу, не попавшему в трубки с верхних пластин, просыпаться на нижние, а с них — в сушильные трубки.

Сырье, просыпавшееся в зазоры между нижними загрузочными пластинами и трубчатой решеткой, попадает в улавливающие карманы зубчатого венца. Последние одновременно выполняют роль элеватора, поднимая и высыпая материал в основное и дополнительные загрузочные устройства. Небольшая часть материала, высыпавшегося из трубок при вращении сушилки, падает на пластины дополнительного загрузочного устройства и возвращается в трубки. Загрузка влажного продукта в трубки сушилки осуществляется под действием сил тяжести. Полнота наполнения трубок зависит от сыпучести материала. Для улучшения загрузки материал должен подаваться в трубки в разрыхленном состоянии, предотвращающем его палипание. Стенки течки и загрузочной камеры оборудуются паровой рубашкой.

Для увеличения заполнения и улучшения процесса сушки каждая трубка снабжается спиральными вставками 11 с переменным шагом, убывающим к разгрузочному концу сушилки. Шаг спирали уменьшается по длине трубки, способствуя торможению высушенного продукта при одновременном снижении теплоотдачи. Спиральная вставка, имеющая длину 7 м, устанавливается на расстоянии 1 м от передней части трубок. Это способствует большему поступлению материала в трубку при загрузке. Наибольшее заполнение трубок достигается, когда направление винтовой линии спиральной вставки соответствует

направлению вращения барабана. В сушилках с правым движением барабана устанавливаются вставки с правым направлением спирали и наоборот.

Разгрузочный конец барабана сушилки входит в разгрузочную камеру 8, аккумулирующую высушенный материал. Внизу камера переходит в одну или две сборные воронки 3, выгружающие высушенный продукт на сборный конвейер. Разгрузочная камера сверху связана с камерой для улавливания угольной пыли из паровоздушной смеси. Под влиянием тяги, создаваемой вытяжной трубой 9, в разгрузочной камере создается разрежение 400—800 Па. Благодаря ему в сушилку поступает воздух и обеспечивается его движение по трубам. Для предотвращения засасывания воздуха в загрузочную камеру и создания в ней необходимого разрежения ее задняя стенка плотно прилегает к кожуху вращающегося барабана.

Разгрузочные воронки 3 в нижней части снабжаются шлюзовыми затворами, устраняющими подсос воздуха в сушилку и предохраняющими загорание в ней пыли. Шлюзовые затворы также позволяют надежно отключать сушилку от всей системы при ремонте. Конденсатопровод 4 в верхней части соединен с воздухоотводом 6. Через воздухоотвод воздух при разогреве сушилки выпускается, а при ее остановке и охлаждении засасывается. В нижней части конденсатопровод разделяется на два трубопровода. Один трубопровод соединен с резервуаром, в который свободно стекает конденсат при разогреве сушилки. Другой служит для стока конденсата из барабана в резервуар при нормальной работе сушилки.

Т а б л и ц а 4.14. Технические характеристики тарельчатых сушилок

Параметры	Типоразмер		
	I	II	III
Производительность по сухому углю, т/ч	2,2	4,8	6,2
Диаметр тарелки, мм:			
наружный	3800	5000	5500
внутренний	1600	2000	2000
Высота сушилки, мм	7830	9180	9980
Число тарелок, шт	26	32	34
Поверхность нагрева, м ²	240	520	680
Частота вращения вала сушилки, мин ⁻¹	5—7	4—6	4—6
Мощность электродвигателя, кВт	12	20	26
Масса, т	70	139	189

Тарельчатая паровая сушилка (рис. 4.11, табл. 4.14) состоит из горизонтально расположенных одна над другой полых кольцеобразных тарелок 1. Они обогреваются изнутри паром, имеющим избыточное давление 0,3—0,35 МПа. Число тарелок в сушилке достигает тридцати четырех. Каждая тарелка периферийной частью свободно лежит на полках-кронштейнах 11, укрепленных

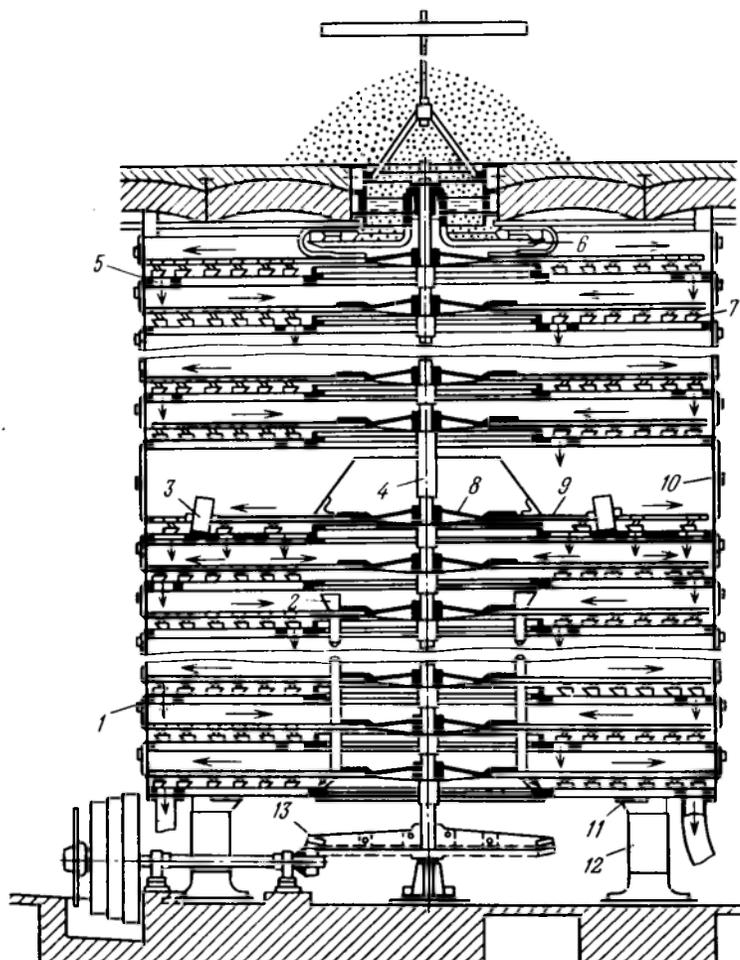


Рис. 4.11. Тарельчатая паровая сушилка

на четырех вертикальных колонках 12. В центральной части сушилки проходит вертикальный вал 4, соединенный через зубчатую передачу 13 с приводом сушилки.

На другом конце вала над верхней тарелкой расположен питатель 6, представляющий собой диск со скребком, направляющим материал на верхнюю тарелку. На валу в кольцеобразном пространстве над каждой тарелкой закреплены крестовины 8, к концам которых привинчены штанги 9 со скребками 7. Скребки на каждой тарелке устанавливаются под определенным углом. Это позволяет им двигаться по окружности и сдвигать с тарелки

материал. В результате совместного действия скребков, материал по тарелке постепенно перемещается от центра к периферии. Затем через окна 5 у кромки тарелки материал сбрасывается на нижнюю тарелку и движется по ней в обратную сторону. Дойдя до внутренней кромки тарелки, он проваливается через окна на следующую тарелку и т. д. Дойдя до последней тарелки, материал успевает полностью высушиться и выгрузиться с нижней тарелки через шлюзовый затвор.

В тарельчатых сушилках для сушки бурых углей одна из тарелок сделана в виде сита, над которым посередине штанг устанавливаются валки-бегуны 3 для измельчения крупных частиц. Поступающий на эту тарелку уголь проваливается на ниже расположенную тарелку. У нее скребки с внутренней половины перемещают уголь к центру, а с наружной — к периферии. Просеянная мелочь движется по этой тарелке к центру и через вращающуюся воронку 2 сбрасывается на следующую тарелку. Неизмельченный уголь попадает на периферийную часть нижележащей тарелки и досушивается, постепенно опускаясь вниз. Каждая тарелка снаружи и изнутри обтянута бортовым кольцом, выступающим над поверхностью тарелки на 100—120 мм. Бортовой выступ предохраняет материал от просыпания из тарелки.

Снаружи сушилка имеет металлический кожух с дверцами по сторонам. Во время работы дверцы приоткрываются для поступления воздуха в сушилку. Сбоку по всей высоте к сушилке примыкает вертикальный желоб, переходящий в вытяжную трубу. Последняя связана с электрофильтром для улавливания пыли, выносимой из сушилки с паровоздушной смесью. К колоннам сушилки крепятся парораспределительные и конденсато-сборные гребенки для подачи в тарелки пара и отвода конденсата.

У сушилок с тарелками большого диаметра (3800 мм и более) последние состоят из двух полутарелок, имеющих четыре сектора. Для таких тарелок подача пара и отвод конденсата производятся с двух диаметрально расположенных гребенок. Тарелки изготовляются из листовой стали толщиной 8—10 мм. Внутри полутарелки или сектора располагаются направляющие полосы для лучшего распределения пара по площади. Количество потребляемого тепла в верхних тарелках большее, чем в нижних. Для достижения оптимальных условий сушки тарелки по высоте группируются в несколько секций. Свежий пар подается в верхнюю секцию, составляющую около половины всех тарелок, где частично конденсируется. Затем освободившись от конденсата, пар проходит остальные секции.

4.3. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ И ДОЗИРОВКИ КОМПОНЕНТОВ БРИКЕТНОЙ СМЕСИ

Основное оборудование участка подготовки и дозировки компонентов брикетной смеси включает различные средства доставки

связующих, насосы для их перекачки, дозаторы и смесители.

Связующие в твердом состоянии доставляются на брикетную фабрику в железнодорожных вагонах или автомашинах. Жидкие связующие перевозятся в железнодорожных цистернах или полувагонах-бункерах.

Железнодорожные цистерны оборудуются паровыми змеевиковыми устройствами из труб диаметром 38—50 мм с поверхностью нагрева до 30 м². В тех случаях, когда перевозится жидкий каменноугольный пек и нефтесвязующие, цистерна термоизолируется.

Полувагоны-бункера представляют собой четыре самопрокидывающихся бункера вместимостью 10 т каждый, установленные на железнодорожной платформе. Емкости оборудованы двойными стенками для разогрева связующего паром на брикетной фабрике.

Иногда жидкие связующие прибывают на фабрику в *термоизолированных автоцистернах* вместимостью 15—20 т с автономной системой разогрева. Такая автоцистерна движется при максимальной загрузке со скоростью 45—50 км/ч.

Для перекачки жидких связующих применяют поршневые, центробежные и шестеренчатые насосы.

Поршневые насосы отличаются высоким кпд (0,85—0,9), развивают большое давление, но имеют небольшую производительность. Наиболее распространен поршневой паровой насос типа ПДГ следующей технической характеристики: производительность 40 м³/ч; развиваемое давление 3,2 МПа; частота хода сдвоенного поршня 50 мин⁻¹; рабочий ход поршня 320 мм; параметры пара: давление 1 МПа, расход 1,8 т/ч. Масса насоса 1,5 т.

Таблица 4.15. Технические характеристики центробежных насосов НГК

Параметры	4НГК-5×1	6НГК 6×1
Подача, м ³ /ч	30 60	60—120
Диаметр рабочего колеса, мм	180 220	280—300
Давление, МПа	0,34—0,66	0,8—1,2
Частота вращения, мин ⁻¹	3000	3000
Мощность электродвигателя, кВт	7,5—20	34—67
Масса, т	0,3—1,2	0,7—2,2

Центробежные насосы (табл. 4.15) отличаются компактностью, просты в монтаже и эксплуатации. У них сравнительно низкий кпд (0,7—0,8). Существует несколько типов центробежных насосов, используемых на брикетных фабриках. Для перекачки нефтесвязующих хорошо зарекомендовали себя насосы с паровой рубашкой марки 4НГК и 6НГК. Центробежные насосы этого типа относятся к категории горизонтальных консольных одноступенчатых спиральных с колесом одностороннего входа.

Шестеренчатые и ротационно-зубчатые насосы (табл. 4.16) получили наибольшее распространение на брикетных фабриках для перекачки связующих. Эти насосы отличаются простотой и

Таблица 4.16. Технические характеристики шестеренчатых и ротационно-зубчатых насосов

Параметры	Д-171	РЗ-3	РЗ-4,5	РЗ-7,5
Подача, м ³ /ч	25	1,1	3,3	5
Давление, МПа	0,6	1,45	3,3	3,0
Частота вращения, мин ⁻¹	300	1500	1500	1500
Мощность электродвигателя, кВт	4,5	1,1	0,9	1,4
Масса, кг	98	11	13	15,5

надежностью, компактностью и малой массой, но сравнительно невысоким кпд. Они способны перекачивать загрязненные связующие, что в условиях брикетного производства упрощает систему подготовки. Наиболее распространены насосы типа Д-171 и РЗ. Первый изготавливается с паровой рубашкой.

Шестеренчатые и ротационно-зубчатые насосы одновременно могут выполнять роль дозаторов жидких связующих. Обычно дозировка связующих осуществляется в комплексе с операцией их распыления. С этой целью используются форсунки различной конструкции (рис. 4.12), обеспечивающие высокую степень тонкого диспергирования и широкий факел распыления связующих. Более совершенная система дозировки связующих описана в разделе 3.1.3 и показана на рис. 3.8. Производительность такого автоматизированного комплекса по подаче связующего составляет около 4 т/ч. Дисперсность распыла связующих достигает 3—5 мкм. Она обеспечивается за счет высокого и постоянного давления, создаваемого насосом в комплексе со специальным шариковым клапаном с пружиной, установленной в форсунках.

Дозировка брикетируемого сырья и твердых связующих, поступающих на смешение, осуществляется с помощью питателей-дозаторов, основные конструкции которых описаны в разд. 4.1.3 и 4.2.1.

Усреднение компонентов брикетной смеси производится в специальных горизонтальных и вертикальных смесителях.

Вихревой горизонтальный двухвальный лопастной смеситель описан в разделе 3.1.3. Он имеет следующие параметры: угол наклона лопаток, установленных на валах, 45°, частота вращения валов 100 мин⁻¹; длина валов 1000 мм; габаритные размеры: 1000×1000×500 мм; потребляемая мощность 50 кВт; масса около 1 т.

Горизонтальный двухвальный шнеково-лопастной или лопастной смеситель (рис. 4.13) представляет собой удлиненное металлическое корыто шириной 0,5 м. Внутри корыта расположены два вала, укомплектованных шнеково-лопастной или лопастной навивкой, вращающихся в противоположные стороны с частотой 60—80 мин⁻¹. Потребляемая мощность и масса соответственно равны 30—70 кВт и 1,5—2,5 т.

Вертикальный смеситель-малаксер описан в разд. 3.1.3. Меха-

Рис. 4.12. Широкофакельная механическая форсунка:

1 — корпус форсунки; 2 — гайка; 3 — распределитель; 4 — завихритель; 5 — распылитель

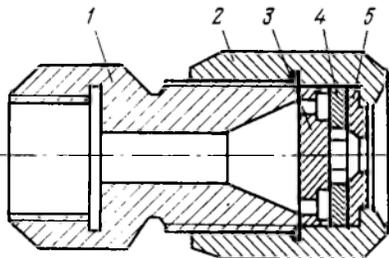
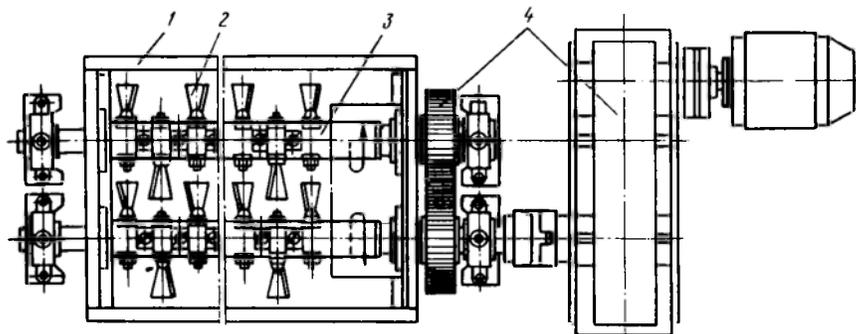


Рис. 4.13. Двухвальный лопастной смеситель:

1 — корпус; 2 — лопатка; 3 — вал; 4 — привод



нические параметры малаксеры, имеющего производительность 50 т/ч, следующие: частота вращения с серповидными лопастями 8—12 мин⁻¹; высота цилиндрической части 4500 мм; диаметр 1400 мм; длина лопасти 600 мм; расстояние между лопастями 700 мм; число установленных паровых форсунок по высоте цилиндрической части 12; мощность электродвигателя 40 кВт; масса 4 т.

Для предварительного смешения полезных ископаемых и твердых связующих наряду с горизонтальными шнеково-лопастными (лопастными) смесителями могут быть использованы смесители-дезинтеграторы.

Дезинтегратор представляет собой два вращающихся в противоположные стороны ротора, закрепленных на валах. Ротор — это кольцо и диск с расположенными по окружности стержнями (типа «Беличье колесо»). Смесь загружается через воронку и, попадая между роторами, перемешивается. Частота вращения роторов 200—600 мин⁻¹; производительность от 10 до 50 т/ч; габаритные размеры: диаметр 1000—3000 мм, ширина — 500—800 мм; мощность электродвигателя 50—100 кВт; масса 2—4 т.

На рудных брикетных фабриках для тщательного перемешивания компонентов брикетной смеси с одновременным их измельчением применяют бегуны.

Бегуны представляют собой механизм, состоящий из двух чугунных дисков, на которые одеты гладкие бандажные кольца.

Бегуны находятся в чугунной чаше. Чаша может вращаться или быть неподвижной. В первом случае бегуны увлекаются трением, вращаясь на неподвижно укрепленной в станине горизонтальной оси. Если чаша неподвижная, то смещение (измельчение) производится за счет раздавливания материала собственным весом бегунов. Чем шире бандажи бегунов, тем этот эффект выше.

4.4. ПРЕССОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

К оборудованию прессовых отделений помимо собственно прессов относятся аппараты для охлаждения брикетной смеси перед прессованием.

4.4.1. Оборудование для охлаждения брикетной смеси перед прессованием

Для охлаждения брикетной смеси с органическими связующими на брикетных фабриках обычно используют *двухвальные горизонтальные лопастные шнеки-конвейеры* длиной 3—6 м. Они оборудуются вентиляционной системой отсоса горячего воздуха. Иногда в шнек-охладитель подводят холодный воздух. Конструкция и механические параметры этого аппарата аналогичны горизонтальному двухвальному смесителю для подготовки брикетной смеси.

На буроугольных брикетных фабриках охлаждение высушенного продукта перед прессованием осуществляется в специальных аппаратах: жалюзийный и барабанный охладители, скребковые конвейеры со сплошным и перфорированным дном, а также с «кипящим слоем».

Жалюзийные охладители представляют собой комплекс из охладительных элементов, имеющих высоту от 10 до 15 м. Охладительный элемент (рис. 4.14) состоит из рамы 3, к которой крепятся металлические пластины 2. Последние устанавливаются на шаблонах 1, перекрывая друг друга по высоте. Высушенный продукт, поступая в охладительный элемент, продвигается по нему сверху вниз в течение 20—30 мин. За это время он охлаждается до температуры 45—50° С. Для интенсификации охлаждения через каждый охладительный элемент подают 1200 м³ холодного воздуха на 1 т высушенного продукта при давлении вентилятора 0,7 МПа. Жалюзийные охладители громоздки, требуют больших объемов зданий. Стандартный охладитель производительностью 40—50 т/ч имеет габариты 5500 × 7500 × 8500 мм.

Барабанные охладители внешне напоминают газовую барабанную сушилку длиной 11—14 м и диаметром 1—4 м. Охлаждающим агентом является воздух, расход которого регулируется жалюзьями на входе и выходе барабана. Внутри барабана расположены лопастные насадки. Барабан разделен на три части. Первая, длиной около 1 м, насадок не имеет. Во второй части насад-

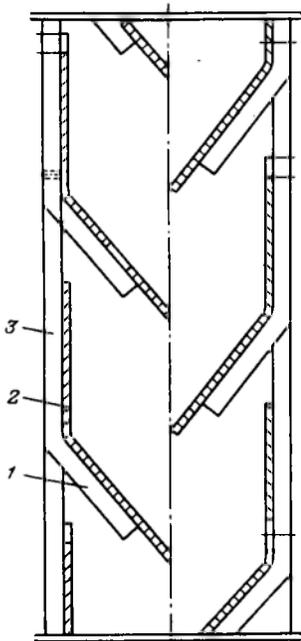
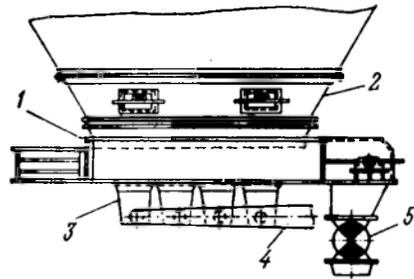


Рис. 4.14. Охлаждающий элемент жалюзийного охладителя сухого угля

Рис. 4.15. Охладитель скребковый с «кипящим слоем»



ки на расстоянии 1 м до конца заменены на сита, через которые удаляется мелочь. В третьей части охлаждается крупный (более 1 мм) уголь. Пылевоздушная смесь так же как у сушилки проходит систему улавливания. Технологические параметры барабанного охладителя следующие: производительность 10—40 т/ч, время охлаждения около 12 мин, частота вращения барабана 10—12 мин⁻¹, удельные расходы воздуха и электроэнергии на охлаждение 1 т высушенного продукта с 75 до 35° С составляют 400—500 м³/ч и 1,7—1,8 кВт. Барабанный охладитель обеспечивает равномерное охлаждение высушенного продукта, но требует больших расходов электроэнергии.

Охлаждающий конвейер представляет собой цепь, на которой расположены скребки в виде узких полос. Полосы насажены на ось скребка с промежутками. Пустоты образованы за счет сдвига полос на смежных скребках на половину друг относительно друга. Такая система улучшает перемешивание высушенного продукта. Пройдя верхнюю и нижнюю ветвь, уголь разгружается через разгрузочный желоб. Воздух для охлаждения подается через боковые стенки герметически закрытого конвейера. Пылевоздушная смесь поступает в общую вентиляционную систему фабрики. Производительность охлаждающего конвейера до 30 т/ч, скорость движения 0,25 м/с, максимальная толщина слоя сухого угля 120 мм, поверхность 180 м² и время охлаждения 12 мин.

Конвейеры-охладители просты по конструкции, легко komponуются в прессовом отделении, однако эффект охлаждения у них невысокий. Кроме того, они характеризуются повышенным износом деталей. Разновидностью описанного аппарата является конвейер с перфорированным днищем, позволяющим отсеивать мелочь.

В настоящее время нашли широкое применение *охладители — скребковые конвейеры, работающие в режиме «кипящего слоя»* (рис. 4.15). Длина и ширина охладителя соответственно равна 5—6 и 0,6—0,7 м. Сверху небольшая часть конвейера 1 открыта и примыкает к разгрузочной воронке 2. Скребки движутся по щелевидному металлическому днищу с отверстием 1—1,5 мм, установленному на верхней и нижней ветвях. Воздух для охлаждения подается снизу через камеры 3 и воздухопроводы 4, создавая охлаждающий «кипящий слой». Охлажденный уголь разгружается через затвор 5. Пылевоздушная смесь очищается в аппаратах улавливания прессового или сушильного отделений. Расход воздуха на охлаждение 1 т сухого угля с 85—90 до 45° С составляет 250 м³. Охладители с «кипящим слоем» компактны, устанавливаются агрегатно с сушилкой, просты в эксплуатации, мало расходуют электроэнергию. Габаритные размеры: длина верхнего и нижнего сит 2700 и 2500 мм, ширина — 660 мм; высота — 630 мм. Эти охладители позволяют исключить мокрое пылеулавливание и шламообразование.

4.4.2. Прессы для брикетирования

Для брикетирования полезных ископаемых применяют механические прессы различной конструкции с одно- и двухсторонним обжатием брикетной смеси непрерывного и прерывного действия с электрическим и паровым приводом.

Вальцовые прессы. *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.

Распределительная чаша (рис. 4.16) служит для равномерной загрузки валков пресса 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 маховиков 5.

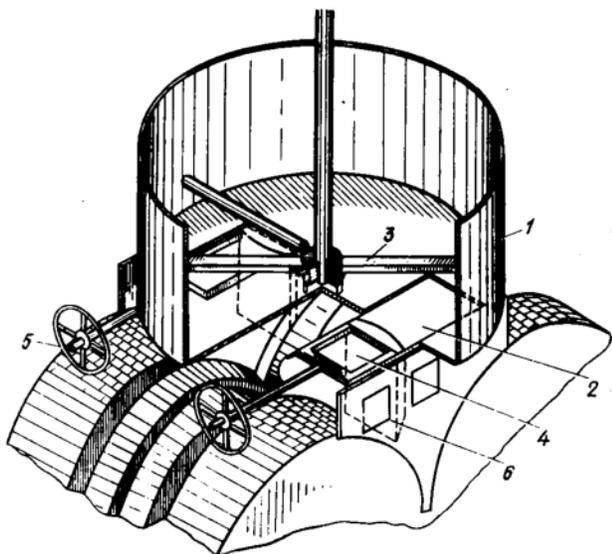


Рис. 4.16. Распределительная чаша вальцового пресса

В современных системах регулирования подачи питания на валки применяется уплотняющая доска с изгибающимися краями. Последние по мере закрывания разгрузочного окна выполаживаются. Это обеспечивает более равномерную подачу брикетной смеси по ширине валков и способствует получению однородных брикетов. Для регулирования подачи брикетной смеси по ширине прессующих валков под чашей в камере загрузки установлены планки-отражатели 6. Их перемещение осуществляется с помощью винтов, аналогично перемещению уплотняющих досок. На приводе распределительной чаши установлена муфта отбора мощности. Ее назначение — предотвращающие перегрузки электродвигателя, поломки вала и лопастей, а также попадания на валки инородного материала.

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. Хорошие результаты последующего прессования достигаются в случае применения *валковых уплотнителей* (рис. 4.17). Готовая брикетная смесь из загрузочного 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. Предварительное уплотнение брике-

Рис. 4.17. Валковый уплотнитель вальцового прессы

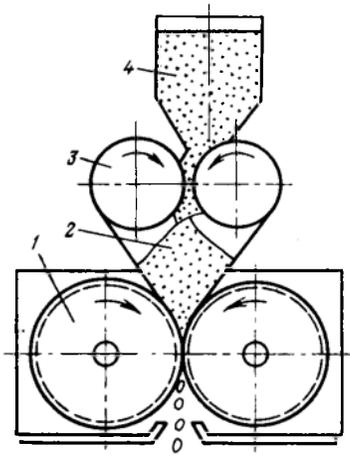
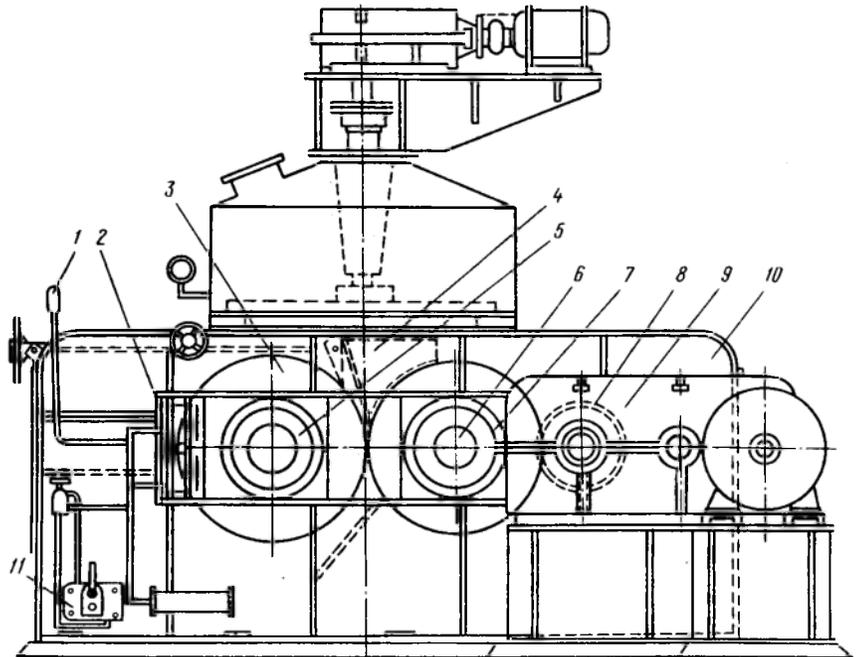


Рис. 4.18. Общий вид вальцового прессы



тируемой массы можно осуществлять, используя центробежную загрузку валков, принцип эксцентрично качающихся щек, червячно-нажимных устройств и др.

Вальцовый пресс (рис. 4.18) 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.

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 малоэластичного 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 па валы 6 и их опорные шарикоподшипники ячейки на бандажных кольцах располагают в шахматном порядке. Вальцовые прессы оборудованы автоматической смазкой всех трущихся поверхностей.

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

Среди большого разнообразия вальцовых прессов имеются агрегаты производительностью от 1 до 100 т/ч. Созданы новые конструкции безрамных прессов, прессов с одним гладким и одним ячеёвым бандажными кольцами, с вертикальным расположением валков и др.

Штемпельные прессы. Для брикетирования бурых углей и тонкозернистых руд, требующих очень высоких усилий, используют штемпельные и кольцевые прессы.

Таблица 4.17. Технические характеристики штемпельных прессов

Параметры	PS-200 (ГДР)			PS-300 (ГДР)		Б-8232	Заво- да им. Димит- рова	БПД-2
	Типоразмер							
	I	II	III	I	II			
Производительность, т/ч	6,9	7,2	8,1	10,2	10,2	4,2	4,2	2,4
Максимальное усилие, развиваемое штемпелем, МН	2,45	2,45	2,45	2,94	2,94	1,6	1,6	1,0
Удельное давление прессования, МПа	100	100	100	120	120	100	100	100
Площадь ударной поверхности штемпеля, см ²	115	120	136	136	170	120	118	96
Длина хода штемпеля, мм	220	220	220	220	220	350	350	300
Число ходов в 1 мин	120	120	120	120	120	70	50—75	76
Число штемпелей	2 или 4	2 или 4	2 или 4	2 или 4	2 или 4	2	2	1
Мощность электродвигателей, кВт	200	250	250	250	300	160	160	125
Габаритные размеры, мм:								
длина	10400	10700	10700	10400	10700	7550	11500	9600
ширина	4500	6700	6700	4600	7600	7850	4000	3700
высота	3000	4500	4500	3000	5000	2150	2500	2100
Масса, т	52	103	103	66	130	54	56	29,5

Примечание. Производительность указана для двухштемпельных прессов (БПД-2 для одного штемпеля).

Штемпельный пресс (рис. 4.19, табл. 4.17) включает станину 1, прессовую головку 2, прессующий механизм 3 и привод 6. Станина служит основанием для всех движущихся частей пресса. Она устанавливается на мощном железобетонном фундаменте 7. На станине покоятся коренные подшипники 5 коленчатого вала 4.

Головка штемпельного пресса размещает в себе пресс-формы, в которых осуществляется собственно брикетирование. Головка (рис. 4.20) — важнейшая деталь штемпельного пресса, определяющая интенсивность прессования. Она состоит из массивной литой станины 1 и крышки 18, соединенных между собой стяжными болтами 2. В головке проходят горизонтальные каналы, в которых располагаются пресс-формы 27. Число последних в зависимости от числа питателей может быть от одного до трех. Сверху горизонтальные каналы ограничены нажимной плитой 5. Она внутренним концом закреплена шарнирно на оси 6 с помощью выступов 22. Нижняя плоскость нажимной плиты опирается

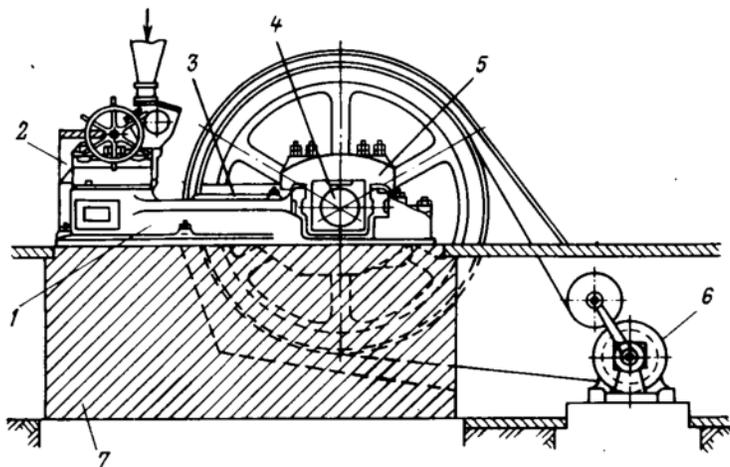


Рис. 4.19. Общий вид штемпельного пресса

на пресс-формы. Это дает возможность изменять положение нажимной плиты в вертикальной плоскости, регулировать высоту формовочного канала и давление прессования.

Для выполнения вышеназванных операций имеется специальный регулировочный механизм. Он состоит из винта 20, проходящего через гайку 21, закрепленную в верхней части головки. Винт установлен так, что с одной стороны упирается в наружную часть нажимной плиты, а другой связан через червячную передачу 15 с маховиком 10. Для удержания нажимной плиты в фиксированном положении при вынутых пресс-формах наружный ее конец соединяется с крышкой головки тягой 19. На конце тяги установлена пружинная система с регулировочной гайкой. Указанные приспособления используются также для установки новых пресс-форм и возвращения нажимной плиты в горизонтальное положение.

Расположенные внутри головки горизонтальные каналы комплектуются формовочным инструментом, из которого собираются пресс-формы. Комплекс из матриц 29, матрицедержателей 24, боковых планок 23 и клиньев 28 образует матричный (формовочный) канал 26. В него входит прессующий штемпель 3. Пылевыделение предотвращается уплотняющими устройствами 4. Каналы 25 служат для подачи пара вначале работы пресса (разогрев головки) и воды для его охлаждения.

На крышке прессовой головки находятся барабанные питатели 8 (по одному на штемпель). С их помощью через каналы 9 осуществляется загрузка материала, идущего на прессование. Питатель состоит из нескольких камер 13 и общего рифленого барабана 9. Барабан кинематически связан с приводом питателя

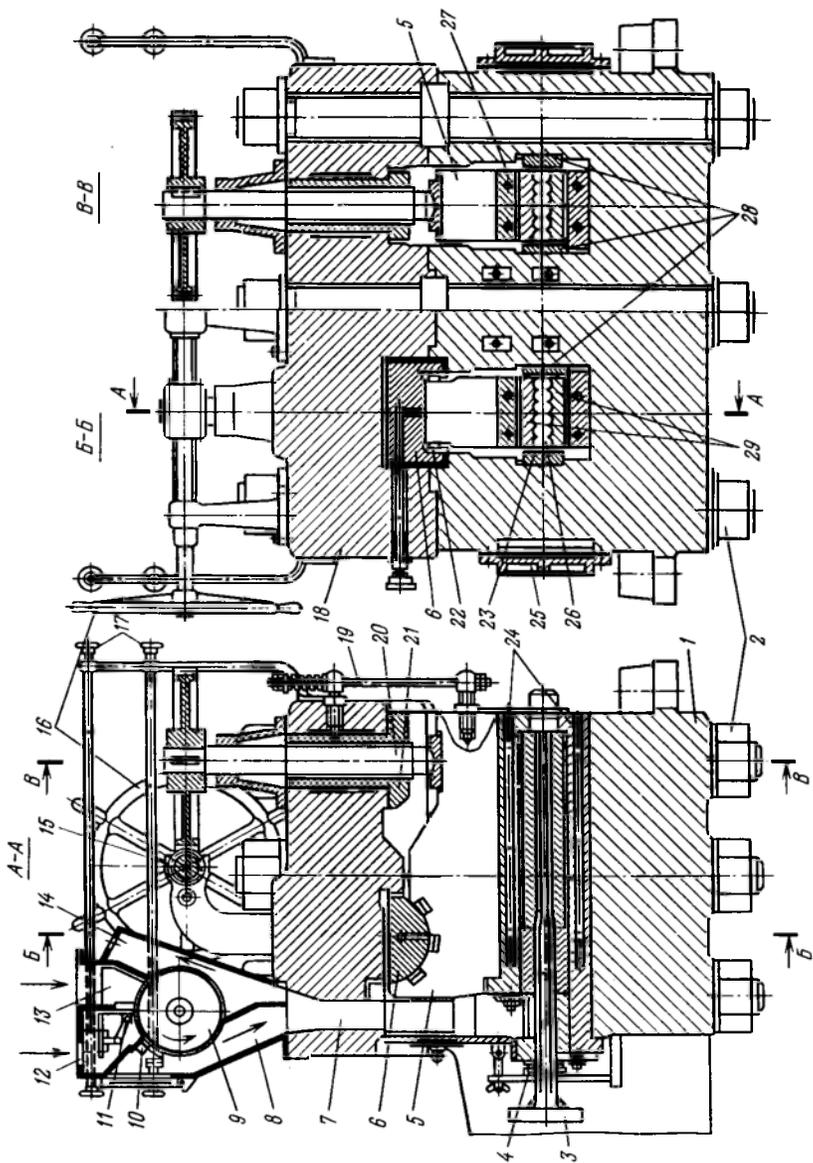


Рис. 4.20. Головка штемпельного прессы

и коленчатого вала. Загрузка регулируется шибером грубой 11 и тонкой 10 настройки, соединенных рукояткой 17. Место загрузки материала в пресс через камеру 14 оборудовано пылеотсосом с возвратом крупной пыли в загрузочную камеру 12.

В новейших конструкциях прессов перемещение нажимной плиты с целью изменения давления прессования осуществляется через гидравлическое нажимное устройство. Замена формовочных деталей пресс-форм производится машинным способом. Для удобства установки штемпеля нижняя часть задней стенки загрузочного канала сделана съемной.

Прессующий механизм обеспечивает формирование брикетов. На рис. 4.21 изображен продольный разрез основных деталей прессующего механизма (правая часть) и общий вид головки пресса. Прессующий механизм (подвижная часть пресса) состоит 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 6 и движется по направляющим станины. Шатун через подшипник 7 закреплен на коленчатом валу. Подшипники 6 и 7 — подшипники скольжения с бронзовыми вкладышами у первого и баббитовым заполнением у второго.

Коленчатый вал изготавливается из особопрочных сортов стали. Он имеет две шейки для коренных подшипников и две (или четыре) шейки для подшипников шатуна. На концах коленчатого вала закреплены диски, на которые насаживаются чугунные маховики, которые состоят из двух полуокружностей.

В современных системах прессующего механизма конец ползуна выполнен в виде штока, к которому болтами крепится штемпель. У прессов с электроприводом имеется один маховик, с паровым приводом — два. Для последнего для работы используется перегретый пар с давлением 1,5–2 МПа и температурой до 250° С. Его отличительная особенность — возможность в широком интервале плавно регулировать частоту движений штемпелей. Паровой конец представляет собой одноцилиндровую машину двойного действия с клапанным парораспределением. Он передает импульс движения коленчатому валу через установленный на нем кривошипно-шатунный механизм. Мощность паровой машины в зависимости от числа штемпелей составляет 70–300 кВт. При использовании электропривода обычно применяют высоковольтные асинхронные двигатели с фазовым ротором той же мощности. Передача от электродвигателя на маховик производится через плоскоременную передачу с натяжным роликом.

Для правильной эксплуатации штемпельных прессов важна своевременная и качественная замена формовочных деталей, образующих формовочный (матричный) канал.

Формовочный канал (рис. 4.22) состоит из верхней рабочей 2 и букельной 6 матриц. Обе матрицы удерживаются планкой 5 на

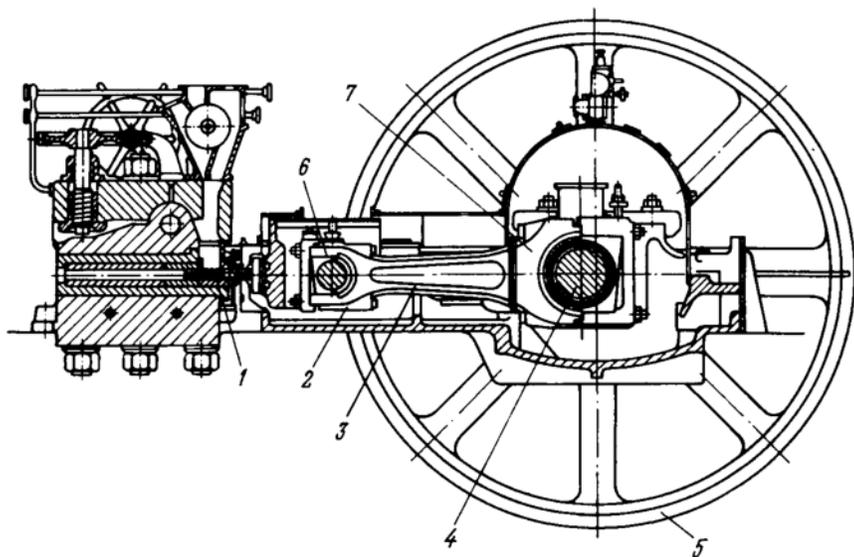


Рис. 4.21. Прессующий механизм штемпельного прессы

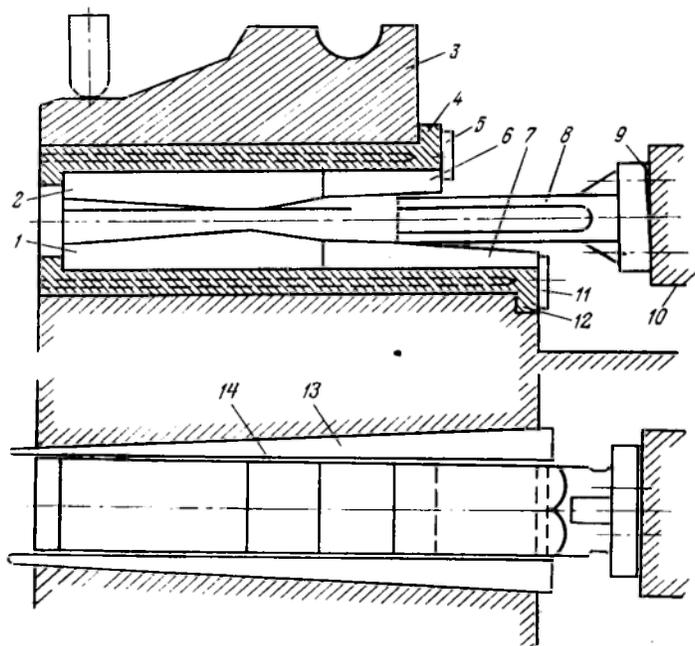


Рис. 4.22. Устройство формовочного канала

верхнем матрицедержателе 4, упирающемся в нажимную плиту 3. Названные детали, соединенные в последовательности, показанной на рис. 4.22, образуют верхнюю стенку канала. Нижняя стенка состоит из нижней рабочей 13, букельной 1 и направляющей 7 матриц. Они устанавливаются в нижнем матрицедержателе 12 и закрепляются пластиной 11. Боковые стенки канала образуются из цельных или нескольких коротких пластин 14. Последние укладываются в углубления боковых распорных клиньев 13 и прижимаются ими к боковой стенке матрицы.

Перед установкой формовочных деталей ползун 10 отводят вправо до предельного положения. По окончании операции установки (замены) пресс-форм на направляющую матрицу накладывают свободный конец штемпеля 8. Противоположный его конец закрепляют к ползуну. Для обеспечения надежного продвижения штемпеля по формовочному каналу между штемпелем и ползуном вставляют пластину-клин 14. Процесс замены пресс-форм может быть механизирован. Это сокращает срок их замены в 4 раза. Изношенные детали (глубина истирания 3—4 мм) восстанавливаются специальной наплавкой с последующей шлифовкой.

Штемпельные прессы классифицируются по числу штемпелей на одно-, двух-, трех- и четырехштемпельные. Одноштемпельные прессы отличаются повышенной неравномерностью движения штемпеля. Для устранения этого недостатка требуется установка тяжелых маховиков и двигателей повышенной мощности. Однако они малопроизводительны, сравнительно громоздки и в настоящее время применяются редко. Наиболее употребимы в промышленности двухштемпельные прессы. Они хорошо уравновешены, обладают равномерностью вращения коленчатого вала, работают с легкими маховиками. В головке двухштемпельного пресса размещаются два матричных канала, и движение штемпелей смещено на 180° .

Трехштемпельные прессы в промышленности не применяются из-за эксплуатационной сложности, неравномерности вращения коленчатого вала. Четырехштемпельные прессы отличаются наиболее высокой производительностью, уравновешенностью системы прессующего механизма и представляет собой сдвоенные двухштемпельные. У такого пресса две головки и две станины, общий коленчатый вал, посередине которого расположен маховик. Движение штемпелей смещено на 90° друг относительно друга. Последнее время изготавливаются четырехштемпельные прессы с общей станиной к одной прессовой головке.

По взаимному расположению штемпелей штемпельные прессы делятся на сдвоенные и двойные. У первых колена вала размещены под углом 180° (двухштемпельные) и 90° (четырехштемпельные). Штемпели совершают рабочий ход попеременно. У двойного двухштемпельного пресса смещений колен нет. Штемпель совершает

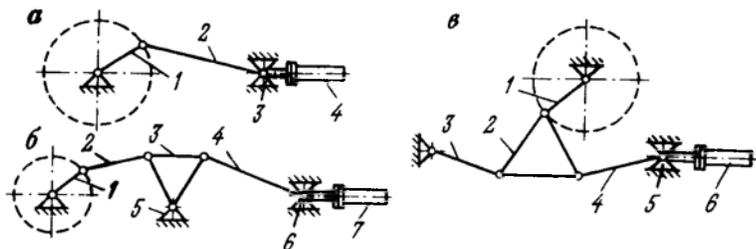


Рис. 4.23. Кинематическая схема прессующих механизмов штемпельных прессов

рабочий ход одновременно. В четырехштемпельном под углом 180° размещены два двойных двухштемпельных пресса, совершающих за один оборот два двойных прессования. Двойные из-за конструктивных сложностей и малого технологического эффекта не получили распространения.

По типу прессующего механизма штемпельные прессы бывают кривошипно-шатунные, коленчато-рычажные и двухколенчатые.

Кривошипно-шатунный механизм (рис. 4.23, а) состоит из кривошипа 1, коленчатого вала шатуна 2, соединенного с одного конца с кривошипом, а с другого — ползуном 3. Ползун движет закрепленный на нем штемпель 4. Этот тип прессующего механизма нашел наибольшее применение в современных штемпельных прессах. Он прост по конструкции, надежен в эксплуатации, обеспечивает высокую эффективность сжатия.

Коленчато-рычажный механизм (см. рис. 4.23, б) отличается от первого тем, что у него вместо одного использовано два шатуна. Последние соединены через качающийся трехшарнирный треугольник 3 с подвижной точкой 5. Этот механизм позволяет получить большой выигрыш в силе на кривошипе в момент наибольших усилий прессования. Его конструкция допускает предельное снижение частоты движения штемпеля за счет увеличения передаточного числа (отношение скорости кривошипа к скорости штемпеля). Этот механизм создает условия для спокойного движения штемпеля в начале пути, и сравнительно быстрого — в момент завершения образования брикетов. Такая система движения штемпеля снимает вредное влияние максимальных нагрузок на коленчатый вал. Она позволяет увеличить время пребывания брикетов под предельными нагрузками. Однако из-за повышенных продольных размеров пресса, сложности кинематической схемы и ряда эксплуатационных неудобств этот тип прессующего механизма не нашел распространения на практике.

Двухколенчатый механизм (см. рис. 4.23, в) близок к коленчато-рычажному, но еще более сложный и эксплуатационно ненадежный. В новых штемпельных прессах не применяется.

По роду привода штемпельные прессы подразделяются на

прессы с паровым и электрическим двигателем. Паровой двигатель позволяет преодолеть перегрузки прессы и обеспечить устойчивую работу на малых скоростях. Однако, он имеет низкий кпд и высокие эксплуатационные расходы. Электродвигатели просты в эксплуатации, имеют высокий кпд, лучше komponуются через маховик с прессующим механизмом.

Эксплуатация штемпельных прессов допускается только после тщательной проверки его ремонтным персоналом. Особенно важно при этом установить целостность движущихся частей, состояние привода, прессующего механизма, болтовых и клиновых соединений. Важную роль в нормальной работе штемпельного прессы играют системы смазки и охлаждения. Смазка трущихся деталей прессы бывает индивидуальная (для одного прессы) или централизованная (для группы прессов). Вода для охлаждения головки прессы должна циркулировать постоянно, охлаждаясь в системе кондиционирования.

Кольцевой пресс представляет собой агрегат сложной и громоздкой конструкции, развивающий давление прессования 200—300 МПа.

Техническая характеристика кольцевого прессы

Производительность, т/ч	10—15
Усилия прессующего диска, МН	4
Удельное давление на линии центра, МПа	200—300
Размеры прессового кольца, мм:	
диаметр	3300
ширина	600
Диаметр прессующего диска, мм	1700
Частота вращения прессового кольца, мин ⁻¹	5—10
Мощность двигателя, кВт	170
Габариты, мм:	
длина	10000
ширина	5200
высота	6800
Масса, т	115

Его конструктивные особенности и механизм работы можно представить, исходя из схемы (рис. 4.24). Основными деталями прессы являются кольцо 1, опирающееся на приводные ролики 7, и прессующий диск 6. На внутренней поверхности кольца сделан паз. Прессующий диск, имеющий на своей цилиндрической поверхности ребро, входит в паз. Ребро разделяет прессующий диск на два канала, в которых происходит обжатие материала. Требуемое давление прессования создается прижатием прессующего диска к материалу. Сила нажатия передается на кольцо и далее на приводные ролики. Возникающее трение оказывается достаточным для того, чтобы ролики и кольцо вращались в разных направлениях.

Пресс загружается непрерывно винтовым конвейером 4, ось которого перпендикулярна торцевой плоскости кольца. Пройдя

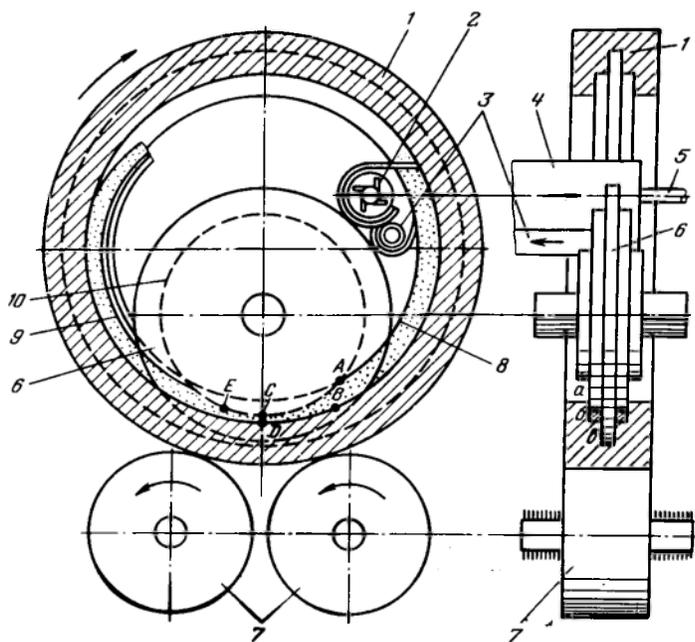


Рис. 4.24. Общая схема кольцевого пресса

винтовой конвейер, материал центробежным питателем 2, установленным на валу 5, направляется в канал кольца. В питателе имеется окно, расположенное против канала кольца. Оно ограждено и уплотнено от просыпаний материала за пределы канала. Из-за больших центробежных усилий, возникаемых в питателе, материал в нем предварительно уплотняется, частично освобождаясь от воздуха. С целью создания благоприятных условий для заполнения канала материал в питатель подается с избытком. После загрузки канала кольца материал попадает на винтовой конвейер 3. Избыток сырья системой конвейеров возвращается на загрузочный конвейер 4. Для предотвращения засыпки шихтой среднего углубления канала, куда входит ребро прессующего диска, предусмотрена уплотняющая шина.

Загруженный в канал пресса материал увлекается вращающимся кольцом благодаря силам трения его о боковую стенку прессующего диска по периметру $a - b - в$. Одновременно материал тормозится неподвижными поверхностями стенки 8 и шины 9. Начиная с некоторой точки A высота слоя AB движимого кольца уменьшается под действием усилий прессующего диска. Максимальное уплотнение достигается на линии центров кольца и прессующего диска, равное высоте CD . При

увеличении зазора между поверхностями диска и дна канала кольца высота материала (точнее уже брикета) увеличивается в результате действия сил упругих деформаций.

Наибольшее расширение брикет приобретает в точке *E*, где брикетная лента теряет контакт с прессующим диском. Брикеты остаются на дне канала кольца, продолжающего свое движение, придерживаемые шиной 9. Удаление брикетных лент из канала кольца происходит в верхней его части, где заканчивается шина 9. При выходе из канала брикетные ленты специальным разламывающим устройством разбиваются на отдельные брикеты. Для облегчения этой операции на цилиндрической поверхности прессующего диска по обе стороны ребра расположены выступы 10. Эти выступы образуют углубления, по которым происходит разрушение брикетной ленты на брикеты. Последние попадают на наклонный желоб и уходят для охлаждения.

Пресс монтируется на двух массивных станинах, которые опираются на фундаментные чугунные плиты. Последние анкерными болтами связаны с массивным железобетонным фундаментом. Основные детали кольцевого пресса: прессовое кольцо, прессующий диск, загрузочное устройство, гидравлическое пружинно-рычажное устройство, устройство для разламывания брикетной ленты.

Прессовое кольцо представляет собой массивную стальную поковку, имеющую внешний и внутренний диаметр 3300 и 2600 мм, ширину 600 мм. Канал прессового кольца (рис. 4.25) футеруется износостойкими формовочными элементами. Они представляют собой сектора, закрепляемые на кольце. Комплект секторов (20 шт.) образует матричный канал. Рабочие поверхности элементов соответствуют форме и размерам брикетов. Особое внимание при сборе матричного канала должно быть обращено на тщательную шлифовку секторов, точную и плотную подгонку их друг к другу.

Прессующий диск выполнен из массивной стальной поковки. Диаметр диска по прессующим поверхностям равен 1700 мм. Диск собран из 24 одинаковых формовочных элементов (рис. 4.26) по 12 на каждой стороне канала. Посередине собранных элементов диска образуется кольцевое ребро, которое входит в центральный паз прессового кольца. На формовочных элементах имеются выступы треугольного сечения для производства насечек, по которым лента разрушается на брикеты. Формующие элементы закрепляются на диске с помощью скоб и болтов (см. рис. 4.25). Для вращения прессующего диска при отсутствии материала в канале кольца на его вал насажено зубчатое колесо, связанное с ручным штурвалом.

Загрузочное устройство состоит из трех винтовых конвейеров и одного центробежного питателя. Винтовой конвейер — это труба, внутри которой вращается пустотелый вал с навитой

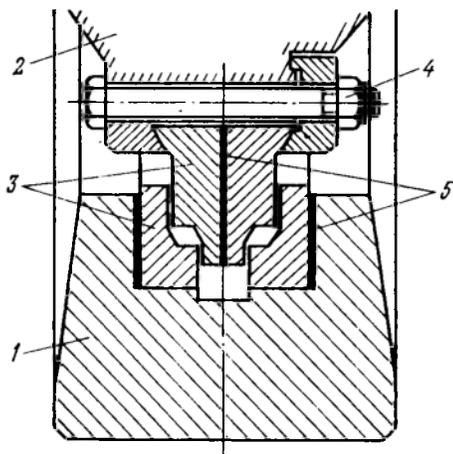


Рис. 4.25. Канал прессового кольца:
 1 — прессовое кольцо; 2 — прессующий диск;
 3 — формовочные сегменты; 4 — стяжной
 болт; 5 — прокладка

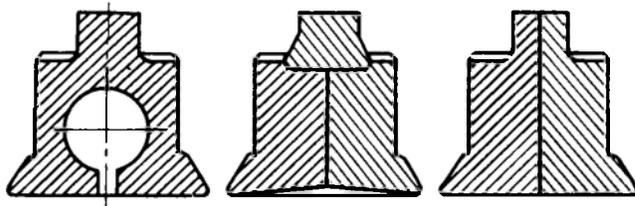


Рис. 4.26. Профили формовочных
 элементов прессующего диска

на него спиралью. Центробежный питатель представляет собой диск с тангенциально укрепленными на нем плоскими лопастями. В продольном направлении питатель разделен перегородкой на две камеры (по числу матричных каналов в прессовом кольце). Диаметр питателя 460 мм, частота вращения 500 мин^{-1} .

Гидравлическое пружинно-рычажное устройство для нажатия прессующего диска на брикетируемый материал состоит из гидравлического домкрата, разрезных пружин, двух поперечин и двух тяг. С уменьшением поступления материала в матричные каналы прессующий диск под действием давления в пружинные перемещается вниз. При увеличении загрузки пресса диск поднимается вверх, сжимая пружину. Это устройство позволяет поддерживать постоянное давление диска. Оно предохраняет от поломки кольцо и диск в случае прекращения поступления материала и попадания инородных тел.

Устройство для разламывания брикетной ленты состоит из заостренного упора, отжимающего ленту от кольца, и вращающегося зубчатого валька, разламывающего ее по впадинам на отдельные равновеликие брикеты. Более совершенная конструкция разламывающего устройства состоит из двух заостренных боковых упоров, отжимающих брикетную ленту. Продвигаясь,

лента набегают на изогнутую шину с большей кривизной, чем кривизна кольца и разламывается на отдельные брикеты.

Кольцевой пресс оборудован мощной пылевыважной и уплотняющей системами. Особенно тщательно необходимо осуществлять контроль за их работой у центробежного питателя, в каналах прессового кольца и при выгрузке брикетов. Велика роль системы смазки пресса и маслосистемы гидравлического нажимного устройства.

Прочие прессы. Среди других известных типов прессов следует указать на столовый гидравлический, рычажный ротационный и ленточно-вакуумный. Они применяются в основном для брикетирования руд.

К *столовым* относятся прессы, имеющие различные прессующие механизмы, использующие принцип поворотного револьверного стола. Процесс прессования осуществляется путем периодического поворота стола с частотой вращения $2,8-3,2 \text{ мин}^{-1}$. Стол пресса выполняется из стальной отливки с 16-ю радиально расположенными отверстиями и кольцом поворота. Прессование одностороннее, одноступенчатое от трехпозиционного револьверного полуавтомата. Максимальное удельное давление прессования 30 МПа. Производительность пресса 5–15 т/ч. В настоящее время отечественная промышленность освоила более производительные столовые прессы с двухсторонним обжатием, автоматизированным регулированием и контролем давления прессования и объема брикетов. Основным потребителем столовых прессов является кирпичная промышленность. Для брикетирования руд они модернизируются в направлении изменения объема и конфигурации пресс-форм.

Столовый пресс с горизонтальным вращающимся формовочным столом (рис. 4.27) работает по следующему принципу. Формовочный стол 7 поворачивается от вращающегося через зубчатое колесо 15 на приводном валу барабана 10. На поверхности барабана имеется паз, захватывающий поочередно конические ролики 14. Число роликов равно числу закрепленных на столе пресс-форм. Паз проходит по поверхности барабана вначале у винтовой линии, а затем по направлению вращения барабана. Это позволяет входить ролик в паз и производить вращение стола. Когда ролик выходит из винтообразной части паза, стол останавливается. Очередное зацепление ролика с пазом приводит стол во вращение. Затем следует остановка и т. д. Во время остановки стола совершается цикл прессования и выталкивания брикета из диаметрально расположенных пресс-форм.

Прессующий механизм состоит из двух парных рычагов — верхнего 4 и нижнего 13. С рычагами шарнирно соединены прессующие 3, 12 и выталкивающий 6 штемпели. Рычаги связаны между собой тягой 17 через плунжер гидравлического

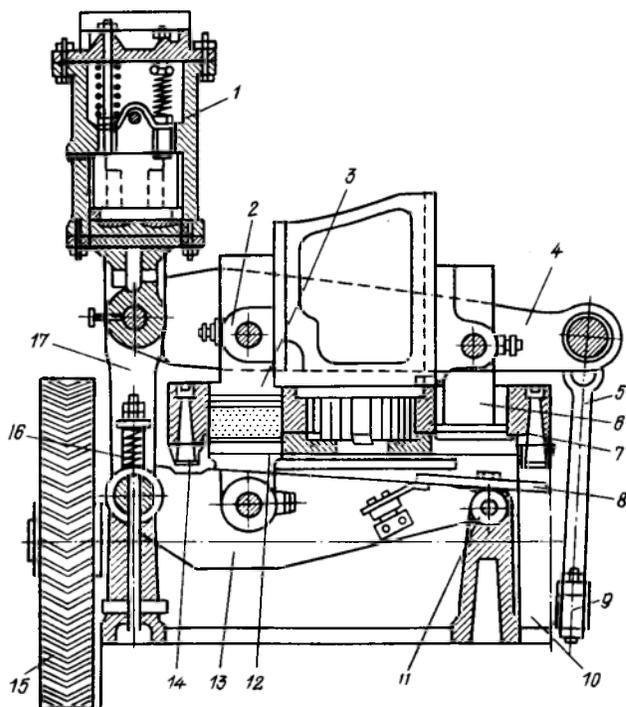


Рис. 4.27. Столовый формовочный пресс

цилиндра 1. Нижний рычаг качается на оси 11, установленной на раме пресса. Верхний рычаг движется по оси 2 через шатун 5 и кривошип 9. К оси 2 подвешен верхний штемпель. При движении верхнего рычага вниз штемпель входит в пресс-форму сверху. Он проталкивается вперед до тех пор, пока сопротивление сжатию брикетной смеси не достигнет предельного значения. В этот момент рычаг поворачивается вокруг оси и начинает толкать вверх тягой 17 нижний рычаг со штемпелем. Последний входит снизу в пресс-форму пока сопротивление сжатию брикетной смеси не достигнет предельного значения. Таким образом брикетная смесь получает двухстороннее предельное сжатие, и образуется брикет. Одновременно второй верхний штемпель выталкивает готовый брикет на наклонный желоб 8. При движении верхнего рычага вверх его штемпель выходит из пресс-форм. Нижний рычаг штемпеля в это время оттягивается вниз пружиной 16.

Револьверный пресс относится к типу прессов, близких к столовым. Он развивает двухстороннее и двухступенчатое давление прессования. Пресс состоит из верхней и нижней

плит, находящихся друг над другом. Расстояние между ними ограничено вертикальным валом. На валу насажены корпуса нижних и верхних поршней. Поршни со стороны стола снабжены штемпелями, а с противоположной — роликами. При работе пресса вся система вращается вокруг вертикального вала, заставляя то подниматься, то опускаться нижние поршни со штемпелем. Такое же движение совершают верхние поршни и штемпеля посредством боковых роликов и специальных направляющих. Максимальное обжатие материала достигается, когда верхние и нижние штемпели оказываются на минимальном расстоянии друг от друга. Возвращаясь в прежнее положение, нижний штемпель выталкивает брикет из пресса. После этого питатель подает новую порцию материала. Производительность револьверного пресса около 20 т/ч.

Ротационный пресс является разновидностью столовых и револьверных прессов. Аппарат работает в режиме двухступенчатого прессования материала. На первой стадии материал медленно подпрессовывается, на второй — быстро формируется в брикеты при максимальных давлениях прессования, равных 30 МПа. Ротационные пресса полностью автоматизированы. Производительность по готовому брикету не превышает 10 т/ч.

Вертикальные рычажные прессы представляют собой неподвижную плиту с отверстиями для пресс-форм. По поверхности плиты движется скользящий питатель, загружающий в пресс-формы материалы. Обратным движением питатель выравнивает его в пресс-формах и вновь загружается материалом. В этот момент поршни, находящиеся над плитой (верхняя) и под ней (нижняя), занимают свои крайние положения. Далее верхние поршни опускаются вниз до отказа, а нижние поднимаются вверх для создания максимального сжатия брикета. Верхние поршни начинают подниматься вверх, в этом же направлении продолжают двигаться нижние поршни, выталкивая брикет в плоскость плиты. Скользящий питатель, подавая очередную порцию материала в пресс-формы, сталкивает готовые брикеты. Затем начинается новый цикл прессования. Производительность пресса при массе брикета 1 кг составляет 3 т/ч. Давление прессования 20–30 МПа.

Гидравлический пресс по своему принципу работы напоминает лабораторный ручной пресс периодического действия. Расположенные над гидравлическим поршневым устройством пресс-формы заполняются предварительно подпрессованной брикетируемой смесью. Поршень включается автоматически, развивая давление прессования до 50 МПа. Производительность гидравлического пресса 5–10 т/ч. Эти прессы из-за громоздкости, малой производительности и сложной гидравлической системы не нашли широкого распространения.

Ленточный вакуумный пресс для брикетирования руд состоит

из двух винтовых прессующих механизмов и вакуумной камеры, расположенной между ними. Первый винтовой прессующий механизм выполняет функции смесителя и подпрессовщика, второй — прессового органа. Длина формовочного агрегата 2300 мм, диаметр 500 мм. В торце пресса имеется выходная матрица с 14 отверстиями. Сквозь них движется лента спрессованного материала. Для разрушения ленты на брикеты имеется ножевое устройство. Производительность пресса при потребляемой мощности электродвигателя 120 кВт равна 10 т/ч.

4.5. ОБОРУДОВАНИЕ ОХЛАЖДЕНИЯ, ПОГРУЗКИ И СКЛАДИРОВАНИЯ БРИКЕТОВ

Для охлаждения брикетов используются ленточные и батарейные желоба, сетчатые и сплошные конвейеры, барабанные охладители и другое оборудование.

Погрузка брикетов в железнодорожные вагоны осуществляется специальными конвейерами-стрелами или желобами с изменяющимся углом наклона.

Складирование брикетов на резервный склад и возврат осуществляются с помощью разгрузочных кранов и погрузочных машин.

4.5.1. Оборудование для охлаждения брикетов

Брикет, выталкиваемый из штемпельного пресса, поступает непосредственно в охладительный желоб.

Охладительный желоб (см. рис. 3.20) представляет собой удлиненную металлическую конструкцию, собранную из профильного металла. Сечение желоба имеет форму и размеры, соответствующие габаритам выходящего из пресса брикета. При изготовлении желоба необходимо учитывать возможность максимального обдува горячего брикета воздухом. Под желобом устанавливаются механизмы для сбора брикетной крошки. Секции желоба должны быть составлены с максимальной точностью по прямой линии. Общая длина желоба (m) для охлаждения брикетов, выходящих с одного штемпеля, рассчитывается по формуле

$$L = N / (Htn), \quad (4.6)$$

где N — число охладительных желобов на один штемпель; H — толщина брикета, м; t — время охлаждения брикета, устанавливаемое опытным путем, мин; n — частота движения штемпеля, мин⁻¹.

Время охлаждения брикетов может быть принято по данным Л. А. Лурье, с использованием параметров табл. 4.18.

Оптимальная длина желоба составляет 200—250 м. В более длинных желобах брикеты начинают разрушаться, так как в штемпельном прессе развиваются вредные чрезмерно высокие

Таблица 4.18. Расчетные данные по охлаждению буроугольных брикетов в желобах

Параметры	Типоразмерный ряд				
	1	2	3	4	5
Число брикетов, выпускаемых прессом в 1 мин, шт.	80	90	100	110	120
Длина брикетной ленты, поступающей из пресса в желоб в 1 мин, м	3,6	4,1	4,5	5,0	5,4
Продолжительность, мин, охлаждения брикетов в желобах длиной, м:					
100	27,7	24,7	22,0	20,0	18,5
150	41,6	37,0	33,5	30,0	28,0
200	55,6	49,6	44,6	40,4	37,0
300	83,4	74,3	66,8	60,5	55,6
600	116,0	147,6	133,0	120,4	110,4

давления. Во избежание длинных желобов рекомендуется охлаждение брикетов осуществлять по батарейному типу.

Батарейные желоба (см. рис. 3.20) состояются из каскадно расположенных коротких линейных желобов. При такой компоновке охлаждающее отделение фабрики становится компактным. Создается возможность увеличения времени охлаждения за счет монтажа дополнительных ярусов желобов по высоте сооружения. Батарейные желоба устанавливаются на расстоянии 10—20 м от выхода брикета из штемпельного пресса. Типовой батарейный желоб состоит из 4—9 коротких линейных желобов общей протяженностью 400—900 м. Расстояние между ярусами составляет 300—400 мм. Над батарейным желобом устанавливается крыша с открытым фонарем для быстрого удаления горячего воздуха. Для интенсификации охлаждения возможна установка сопел с разбрызгиванием воды.

Подача брикетов от пресса к линейным желобам осуществляется выводным желобом, который идет непосредственно от зева пресса. Разводящий желоб направляет брикет от выводного желоба по двум сторонам батарейных желобов. Поворотный желоб выполняет операцию последовательной загрузки каждого линейного желоба. После загрузки последнего линейного желоба поворотный желоб вновь устанавливается на исходную позицию. Для удаления брикетов, разрушенных при загрузке линейных желобов, под поворотными желобами устанавливают ленточный конвейер.

Желоба барабанного типа являются разновидностью линейных батарейных желобов. Они представляют собой систему расположенных друг от друга на 6—8 м дисков. Сквозь диски под углом 45° один к одному проходит восемь линейных желобов. Диски опираются на ролики, которые приводят во вращение охладитель брикетов. Барабанный охладитель батарейных желобов

бов работает следующим образом. Брикетки из пресса поступают на короткий направляющий желоб, заполняя его по всей длине. Брикетная лента с помощью специального гидравлического привода и боковых захватов проталкивается в первый линейный желоб барабанного охладителя. Одновременно с этим другой гидравлический привод поворачивает барабан на 45° , подставляя для загрузки второй линейный желоб и т. д. Управление обоими гидравлическими приводами автоматизировано. Установка оборудуется створчатой крышей для укрытия желоба на случай атмосферных осадков. Общая длина охладительной установки составляет около 100 м.

Конвейер с сетчатой или прорезиненной (синтетической) лентой наиболее широко применяется для охлаждения каменноугольных и рудных брикетов. Он обладает повышенной воздухопроницаемостью сверху и снизу. Брикетки укладываются не сплошной массой, а в разбросанном свободном состоянии на некотором расстоянии друг от друга. По своей конструкции эти аппараты напоминают ленточный конвейер с плоской ролик-опорой. Их отличие заключается в специальной конструкции натяжного и головного барабанов, которые футерованы деревом и имеют диаметр примерно в 2—2,5 раза больше, чем у обычного конвейера. В качестве тягового органа используется металлическая сетчатая лента, плетение которой показано на рис. 3.12.

Для охлаждения брикетов используются обе ветви ленты. Для этого на приводном барабане монтируется перегрузочное устройство, позволяющее мягко и равномерно загрузить нижнюю ветвь. Скорость движения ленты не превышает 0,2—0,3 м/с. Расстояние между роликами должно обеспечивать хорошее натяжение ленты. Производительность конвейеров, исходя из условий одно-двухрядного заполнения металлической сетчатой ленты брикетами, составляет при ширине 1200, 1400, 1600 и 2000 мм соответственно 50, 75, 100 и 150 т/ч.

Интенсивность охлаждения брикетов на сетчатой ленте зависит от длины конвейера. Для охлаждения брикетов с органическими связующими она находится в пределах 100—250 м. Вместо сетчатой металлической ленты используется прорезиненная или синтетическая. Такая замена целесообразна в случае охлаждения брикетов, имеющих первоначальную температуру не более 60°C и небольшой (до 6—7%) расход связующих. Охладительные конвейеры располагаются в галереях с большими открытыми стеновыми проемами или под навесом, предотвращающим попадание атмосферных осадков и коррозию металлической ленты.

Брикетные фабрики, работающие на штемпельных прессах, зачастую используют *комбинированный метод охлаждения брикетов*. Он заключается в сочетании охлаждения брикетов в желобах и на конвейерах с сетчатой или прорезиненной (синте-

тической) лентой. Метод комбинированного охлаждения позволяет сократить до минимума длину охлаждающих желобов (вместо 400 до 80 м).

Время (мин) охлаждения бурогольных брикетов от прессы до погрузки рассчитывается по формуле

$$T = \frac{1000li}{nh} + \frac{2L}{60v_c} + \frac{L_{\text{общ}}}{60v_n}, \quad (4.7)$$

где l — длина охлаждающего желоба, м; i — число охлаждающих желобов на один штемпель; n — число ударов штампея в 1 мин; h — толщина брикетов, мм; L — длина охлаждающего конвейера, м; v_c — скорость движения охлаждающего конвейера, м/с; $L_{\text{общ}}$ — общая длина ленточных конвейеров от конца охлаждающего конвейера до погрузки брикетов в железнодорожные вагоны, м; v_n — скорость движения ленточных конвейеров от конца охлаждающего конвейера до погрузки брикетов в железнодорожные вагоны, м/с.

Для определения времени охлаждения брикетов на основе органических связующих можно воспользоваться формулой (4.2) без первой части уравнения.

Для охлаждения каменноугольных брикетов используют *рампу — железобетонное сооружение в виде бункера с однонаклонной решетчатым дном*. Поступающие на рампу (см. рис. 3.13) брикеты загрузочной тележкой и конвейером-стрелой распределяются по длине зданий. Охлажденные брикеты выгружают из ramпы разгрузочной тележкой с дисковым выталкивателем. Последний напоминает дисковый питатель, работающий по принципу лопастного питателя. Рампа имеет крышу, предохраняющую брикет от слипания в летнее время и воздействия атмосферных осадков.

4.5.2. Оборудование для погрузки и складирования брикетов

Погрузка брикетов в железнодорожные вагоны (автомашины) осуществляется ленточными конвейерами-стрелами. *Стрела* представляет собой стационарный конвейер, часть которого шарнирно перемещается. При загрузке брикетов в железнодорожные вагоны подвижная часть — стрела находится на дне. По мере загрузки вагона она перемещается вверх. В тех случаях, когда дистанционное перемещение железнодорожного вагона не предусматривается, устанавливается подвижный конвейер. Перемещающаяся на расстояние, равное длине вагона, он осуществляет его послойное наполнение.

В зависимости от конструкции резервного склада брикетов применяются различные загрузочно-погрузочные устройства. Загрузка и выгрузка полубункерного склада осуществляется теми же аппаратами, что и ramпы. Для работы в закрытых безбункерных складах, используется специальное оборудование. К основ-

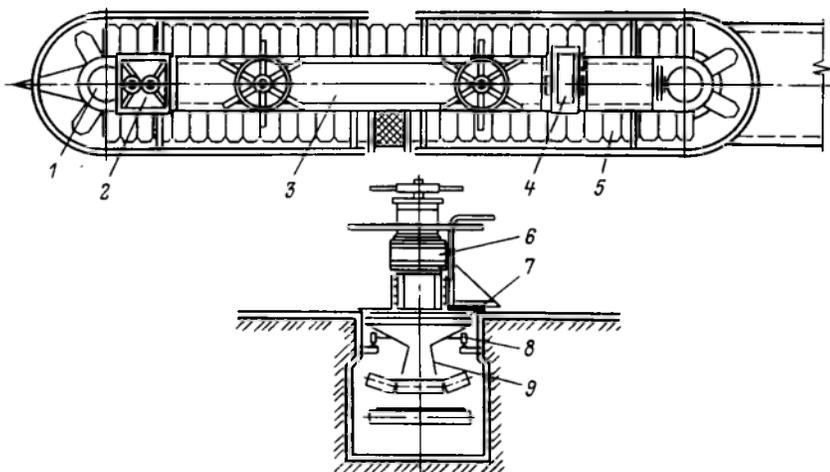


Рис. 4.28. Машина для погрузки брикетов

ным аппаратам относятся *перегрузатель и погрузочная машина*.

Техническая характеристика перегружателя

Производительность, т/ч	42
Размеры конвейера, мм:	
длина	11 500
ширина ленты	800
Скорость конвейера, м/с	0,5
Вылет стрелы в горизонтальном направлении, мм	10 200
Угол наклона конвейера к горизонту, градус	0—20
Скорость подъема стрелы (в точке подвески), м/с	8,5
Окружная скорость поворота на конце стрелы, м/с	0,5
Общая мощность электродвигателей, кВт	11,2
Масса, т	13,5

Техническая характеристика погрузочной машины

Производительность, т/ч	75,0
Скорость, м/с:	
передвижения тележки	0,20
пластинчатой ленты	0,36
поворота верхней рамы на приводном ролике	0,20
Общая мощность электродвигателей, кВт	17,5
Габаритные размеры, мм:	
длина	11 200
ширина	1500
высота	1700
Масса, т	7,5

Перегрузатель представляет собою ленточный конвейер-стрелу с устройством для радиального поворота.

Машина для погрузки брикетов со склада на конвейер (рис. 4.28) состоит из верхней 6 и нижней 7 тележек. Верхняя тележка

представляет собой поворотную раму 3. Вокруг нее вращается рабочий транспортирующий орган — пластинчатая лента 5, приводимая в движение от привода 2. Лента состоит из отдельных пластин, согнутых под прямым углом и соединенных между собой двумя роликовыми цепями. Рабочей поверхностью ленты одновременно являются вертикальная и горизонтальная части пластин. Поворотная рама одним концом опирается на пята нижней тележки. Верхняя тележка поворачивается вокруг нее на 360°. Остальная часть рамы опирается на ролики с приводом 4, с помощью которых верхняя тележка перемещается по поверхности склада. Брикеты с пластинчатой ленты сбрасываютелем 1 подаются в воронку 9. Последняя устанавливается на роликах 8 на общем рельсовом пути машины и соединена с рамой нижней тележки. Нижняя ходовая тележка 8, несущая верхнюю тележку, устанавливается на рельсовом пути в траншее разгрузочного конвейера. Она перемещается вдоль склада. Верхняя тележка подводится вплотную к штабелю. Брикеты захватываются ее пластинчатой лентой и подаются через приемную воронку на погрузочный конвейер. Для стабильной работы машины склад должен быть хорошо спланирован и не иметь неровностей.

Глава 5

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ БРИКЕТНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Опробование и контроль технологического процесса брикетной фабрики заключаются в определении расхода и качества поступающего сырья и отгружаемых брикетов на их соответствие установленным государственным стандартом (ГОСТ) или техническим условиям (ТУ). Эти функции выполняет отдел технического контроля (ОТК). Оперативный контроль производства, связанный с наладкой и стабилизацией технологии брикетирования, осуществляется производственным персоналом, иногда ОТК.

5.1. ОПРОБОВАНИЕ И КОНТРОЛЬ ПРОИЗВОДСТВА

Опробование полезных ископаемых и связующих производят с целью определения их качества и расхода для последующего расчета с поставщиками сырья и установления брикетирующих свойств. Поступающие угли контролируют на зольность, массовую долю влаги, теплоту сгорания и гранулометрический состав. Руды и их концентраты оценивают по минеральному составу,

содержанию полезного минерала, массовой доли влаги и гранулометрическому составу. У связующих определяют содержание влаги и клеящую способность по специальному параметру, характерному для данного связующего. Например, такими параметрами являются: для нефтесвязующих и каменноугольного пека — температура размягчения и растяжимость (дуктильность); сульфит-спиртовой барды — содержание лигносульфонатового комплекса; цементов — содержание CaO и SiO_2 ; глины — степень набухаемости; известки — содержание CaCO_3 ; растворимого стекла — модуль основности.

Опробование технологического процесса в комплексе подготовки сырья связано с ежесменным определением гранулометрического состава брикетируемого материала и твердых связующих. Для жидких связующих ежечасное определение вязкости и постоянное наблюдение за температурой. Брикетируемое сырье контролируют по массовой доле влаги и температуре высушенного продукта с периодичностью опробования не реже 1 раза в 1 ч. Одновременно осуществляется постоянная регистрация технологических параметров топочных газов, пара, разрежения в сушильном тракте.

В прессовом отделении контролируются давление прессования, температура брикетной смеси, визуально оценивается внешний вид брикетов. Контроль охлаждения готовых брикетов позволяет высчитать степень снижения температуры в ядре брикета и бой брикетов.

Общий объем работ по опробованию, точки отбора, размер проб и периодичность их отбора определяются ОТК фабрики. При этом учитываются особенности конкретного полезного ископаемого, связующего, технологического процесса, производительности фабрики, компоновки основного оборудования и др.

Примерная схема опробования на каменноугольной и рудной брикетных фабриках с органическим связующим приведена в табл. 5.1, бурогоугольной — в табл. 5.2.

Основные испытания брикетируемого сырья производят ОТК и химическая лаборатория. ОТК осуществляет отбор и разделку до аналитической пробы и ситовый анализ. Химические анализы сырья и определение специфических свойств связующих выполняет химическая лаборатория. Качественные показатели опробуемых продуктов устанавливают ускоренными и стандартными методами. Первые применяют для оперативного контроля зольности, содержания полезного минерала и массовой доли влаги. Стандартными методами оценивают сборные месячные пробы сырья.

Существуют стандарты, по которым оцениваются показатели, регламентирующие скидки — доплаты между фабрикой и шахтой-поставщиком (например зольность и доля влаги). Кроме того, государственные стандарты устанавливаются на основные

Т а б л и ц а 5.1. Опробование по схеме технологического процесса на каменноугольной и рудной брикетных фабриках, производящих нефтесвязующее

Опробуемый продукт	Место отбора пробы	Цель опробования	Масса пробы и контролируемые показатели
Исходный уголь (руда)	Из ж.-д. вагонов, автомосвала, ленточного конвейера	Контрольная проба. При подозрении на несоответствие качества установленным нормам на сырье	Определение доли влаги, зольности и содержания полезного минерала
Дробленый уголь (руда)	С ленточного конвейера перед сушилками	Контроль за качеством материала	Сменная проба, составляемая из порций, набираемых через 1 ч. Определение доли влаги, зольности, содержания полезного минерала
То же	То же	Контроль за работой дробильно-сортировочного отделения	Сменная проба 10—20 кг. Отбор порций через 1—2 ч. Определение гранулометрического состава
Материал после сушилок	При выходе из сушильного отделения	Контроль за качеством сушки	Рабочая проба через 1—2 ч. Определение доли влаги ускоренным или экспресс-методом
Нефтесвязующее	При разгрузке бункеров-вагонов	Контроль за качеством поступающего связующего	Разовая проба через 1—2 кг. Определение температуры размягчения и растяжимости
То же	Из кольцевого трубопровода перед смешением с углем (рудой)	Контроль за подготовкой связующего	Разовая проба через 1—2 ч. Определение температуры разогрева связующего и вязкости
Брикеты	С охладительного конвейера	Контроль за качеством брикетов	Разовая проба 8—10 кг. Отбор пробы через 2 ч. Испытание брикетов. Определение доли влаги, зольности, содержания связующего и полезного минерала
То же	Из ж.-д. вагонов	Товарная проба	Испытание брикетов. Определение качественных показателей по ГОСТ или ТУ

Т а б л и ц а 5.2. Опробование по схеме технологического процесса на буроголиной брикетной фабрике

Опробуемый продукт	Место отбора пробы	Цель опробования	Масса пробы и контролируемые показатели
Исходный уголь	Из ж.-д. вагонов	Контрольная проба. При подозрении на несоответствие качества рядового угля установленным нормам	Определение видимой породы, доли влаги, зольности
Дробленый уголь	С конвейера из дробильно-сортировочного отделения на сушку	Предварительное опробование качества угля	Разовая проба по 1—2 кг 4 раза в смену. Определение доли влаги и зольности угля ускоренными методами
То же	То же	Контроль за качеством угля, поступившего на брикетирование и за работой дробильно-сортировочного отделения	Сменная проба, составляемая из порций 1—2 кг, набираемых ежечасно. Определение влаги, зольности и гранулометрического состава
»	Из потока после отдельных механизмов и систем дробильно-сортировочного отделения	Контроль за качеством работы отдельных механизмов и систем	Проба по 8—10 кг, периодически. Определение гранулометрического состава
Высушенный уголь	После отдельных сушилок	Контроль за качеством сушки угля в отдельных сушилках	Разовая проба 1—1,5 кг один раз в сутки (смену). Определение доли влаги ускоренным или экспресс-методом
То же	Из общего потока до и после установки контрольного додраблывания	Контроль за качеством работы установки контрольного додраблывания	Разовая проба высушенного угля 3—5 кг для определения гранулометрического состава. Периодическое опробование по мере надобности
Брикеты	Из общего потока с конвейера перед погрузкой	Контроль за качеством брикетов	Разовая проба по 15—20 кг 4 раза в смену. Определение механической прочности брикетов, доли влаги и зольности
То же	Из ж.-д. вагонов	Товарная проба	Испытание брикетов. Определение качественных показателей по ГОСТ или ТУ

показатели качества каждой единовременной отгружаемой партии брикетов (например, механическая прочность).

Для оценки качества полезного ископаемого из массы, поступившей на фабрику, отбирается *общая проба*. Она составляется из *частичных проб (порций)*, отобранных по определенной схеме в течение регламентированного периода. Для этого определяют минимальную массу пробы, необходимое число частичных проб (порций) и допустимую минимальную массу одной пробы.

Минимальная масса пробы определяется по формуле

$$M_{\min} = kd^2, \quad (5.1)$$

где M_{\min} — масса пробы, кг; k — коэффициент, зависящий от содержания данного компонента и равномерности его распределения в материале пробы; d — максимальный размер зерен в пробе, мм.

Необходимое число частичных проб (порций) рассчитывается по формуле

$$n = t^2 \sigma^2 / m^2, \quad (5.2)$$

где t — коэффициент надежности опробования; σ — среднее квадратическое отклонение; m — вероятная погрешность общей пробы.

Минимальная масса частичных проб (порций), согласно действующим стандартам, принимается: для руд цветных металлов от 2 до 0,5 кг; для железных руд: мелких — 0,5 кг, крупных — от 0,75 до 1 кг; для угля — от 0,5 до 1,5 кг.

Разделка и обработка первичных проб — это операция по подготовке полезного ископаемого для намеченного вида испытания или химического анализа. Для проведения такой операции первичная проба дробится, истирается и сокращается по разработанной стандартной схеме.

Отобранные первичные пробы руд и их концентратов классифицируются по целевому назначению на следующие виды проб: минералогические, химические и технологические.

Минералогическая проба предназначена для оценки структурных и текстурных особенностей и состава полезных ископаемых. По ней можно определить состав входящих минеральных компонентов, их взаимное прорастванье, крупность вкрапления.

Химическая проба позволяет установить химический состав полезного ископаемого и определить ценность его как объекта брикетирования.

Технологическая проба дает возможность определить брикетирующую способность сырья и установить рациональную технологию изготовления брикетов.

Отдельно отбирается проба для определения гранулометрического состава. Для отбора проб на брикетных фабриках применяют скреперные, ковшовые, маятниковые и другие пробоотборники.

Пробоотборники скреперные (ПС) и маятниковые (ПМ) используются для отбора пробы полезного ископаемого с ленточных конвейеров. Пробоотборники ковшовые (ПК) — на перепадах потоков. Принцип работы первых двух основан на снятии полоски материала с движущегося ленточного конвейера через определенные промежутки времени. У пробоотборника ПС эту операцию выполняет открытый сверху и снизу скреперный ковш. Пробоотборник ПМ снимает пробу ковшом, двигаясь по траектории, соответствующей радиусу кривизны ленты конвейера. Ковшовый пробоотборник пересекает поток материала в месте его перепада. Он работает по принципу, близкому к скреперному пробоотборнику. Указанные пробоотборники устанавливаются на конвейерах с шириной ленты от 800 до 1600 мм, обеспечивая требуемый отбор проб с потока производительностью 300—2000 т/ч. Аналогичные пробоотборники могут быть использованы для опробования сыпучих связующих.

Обработка и разделка проб сыпучих материалов производится механически с помощью машин для подготовки лабораторных (МПЛ) и аналитических (МПА) проб. Наиболее распространены машины МПЛ-150 и МПА-150 производительностью 1,5—2 т/ч.

5.2. МЕТОДЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА СЫРЬЯ И БРИКЕТОВ

Оценка качества сырья. Руды и их концентраты оцениваются по минералогическому анализу, осуществляемому под микроскопом на шлифах или мелкозернистом материале, и химическому. Уголь оценивается по зольности и доле влаги. Для всех полезных ископаемых производится ситовый анализ. Указанные анализы ведутся согласно ГОСТу. Методы оценки органических полимерных связующих сводятся к определению температуры размягчения, пенетрации, дуктильности, иногда влажности.

Температура размягчения связующего определяется по методу «Кольцо и Шар», иногда «Кольцо и Стержень». Суть метода заключается в том, что специальные кольца заливают испытуемым связующим. Рядом помещают термометр, у которого нижняя часть ртутного баллона находится на одном уровне с нижней плоскостью связующего, залитого в кольцо. В центр каждого кольца кладут стальной шарик. Опускают подвеску с кольцами в стакан с жидкостью (вода или глицерин). Жидкость нагревают со скоростью 5° С в 1 мин. Показание термометра в момент, когда шарик коснется контрольного диска прибора, отвечает температуре размягчения. Иногда вместо шарика устанавливают специальный стержень. Разница в показаниях между методом «Кольцо и Шар» и «Кольцо и Стержень» составляет 10—12° С. Сокращенно эти методы обозначаются «К и Ш» и «К и С».

Пенетрация или глубина проникновения иглы в связующее определяется при определенной температуре, чаще 25° С. Для

этого изготавливают образец связующего определенной массы и объема. На него устанавливают коническую стандартную иглу, нагружая ее грузом 100 г в течение 5 с. Отрезок пути, пройденный иглой за это время, характеризует пенетрацию связующего. Определение повторяют не менее 3 раз, устанавливая среднюю величину. Единица пенетрации 0,1 мм. В расчетах пенетрация принимается безразмерной величиной.

Растяжимость (дуктильность) определяется по предельному растяжению нити связующего, залитого в специальную форму. Форма представляет собой две половинки цифры восемь. Перед тем, как залить связующее, полуосьмерки вставляют в зажимные устройства и стыкуют друг с другом. Далее систему, залитую связующим, растягивают при определенной температуре (чаще 25° С) с заданной скоростью. Расстояние между полуосьмерками, при котором разорвалась образовавшаяся нить связующего, соответствует его растяжимости. Растяжимость выражается в см.

Доля влаги связующих определяется по ГОСТу или ускоренным методом.

При испытаниях сульфит-спиртовой барды (ССБ) определяют плотность, содержание влаги, серы и «сухого вещества». Содержание влаги и серы определяют по ГОСТу. Плотность измеряется ареометром. Содержание «сухого вещества» устанавливается методом выпаривания влаги и удаления легких погонев ССБ при температуре 105° С в течение 4 ч по разности масс до и после выпарки.

Качество глинистых и гипсоцементных связующих оценивается по тонкости помола и степени набухания. *Тонкость помола* определяется по удельной поверхности и седиментационным анализом. *Удельную поверхность* устанавливают методом фильтрации воздухом через тонкоизмельченное связующее. Ее расчет ведут по формуле

$$S = \frac{k}{\gamma} \sqrt{\frac{m^3}{(1-m)^2}} \sqrt{\frac{1}{0,1\eta}} \sqrt{T}. \quad (5.3)$$

где k — постоянная прибора; γ — плотность связующего, кг/м³; T — время опускания жидкости в манометре, с; η — вязкость воздуха при температуре опыта, Па·с; m — коэффициент порозности связующего, рассчитываемый по формуле

$$m = V\gamma - P/(V\gamma), \quad (5.4)$$

где V — объем связующего в гильзе, м³; γ — плотность связующего, кг/м³; P — масса связующего, кг.

Седиментационный анализ проводят с помощью торзионных весов и мерного стакана, наполненного суспензией связующих. Чашечку весов помещают в центр стакана и взвешивают. Далее

взвешивают чашечку и осевший на нее материал через 15, 30 с, 1 мин и до 10 мин с интервалом 2 мин. По полученным данным строят кривую оседания. Затем ее обрабатывают методом построения касательных, определяя массу отдельных фракций и их процентное участие. Эквивалентный радиус частиц отдельных фракций находят по следующей эмпирической формуле

$$r = \sqrt{\frac{9\eta v}{2(\rho_f - \rho_c)g}}, \quad (5.5)$$

где r — радиус частицы, мКм; η — вязкость среды, Па·с; v — линейная скорость движения частицы, м/с; ρ_f и ρ_c — соответственно плотность дисперсной фазы и дисперсионной среды, кг/м³; g — ускорение свободного падения, м/с².

Степень набухания глин можно оценить по прибору А. М. Васильева. Суть определения состоит в том, что испытываемое связующее укладывает между поршнем прибора и пористым дном. Материал сжимают и через пористое дно подают определенную порцию воды. Связующее, набухая, поднимает поршень, движение которого фиксирует стрелка прибора. Изменение набухания во времени регистрируется самопишущим прибором. Одновременно можно определить объем набухания, долю влаги в набухающем связующем и его пористость в любой момент эксперимента. Этот метод нашел применение также для определения набухаемости бурых углей и их брикетов.

Время затвердевания для гипсовых связующих определяют следующим образом. Приготавливают тесто. Помещают его в кольцо, выравнивая поверхность. Затем в тесто вставляют иглу первый раз (начало процесса) на глубину до дна кольца; второй — на глубину 0,5 мм. В промежутках через каждые 30 с погружают иглу в тесто в новое место, предварительно ее протерев. Разница во времени двух вышеуказанных определений и есть время затвердевания связующего.

Испытание брикетов производится на определение зольности, доли влаги, теплоты сгорания, механической прочности, содержания мелочи, термоустойчивости и влагопоглощения. Первые три параметра оцениваются по действующим ГОСТам, иногда ускоренными методами.

Ускоренный метод определения зольности заключается в озолении навески испытуемого угля прокаливанием в кварцевых или фарфоровых лодочках в муфельной печи при температуре 850° С с открытой дверцей для свободного доступа воздуха. После термообработки лодочку с углем охлаждают и взвешивают, определяя его зольность.

Ускоренный метод определения доли влаги заключается в следующем: бюксы (фарфоровые лодочки) с навеской угля помещают в предварительно нагретый до температуры 180° С сушиль-

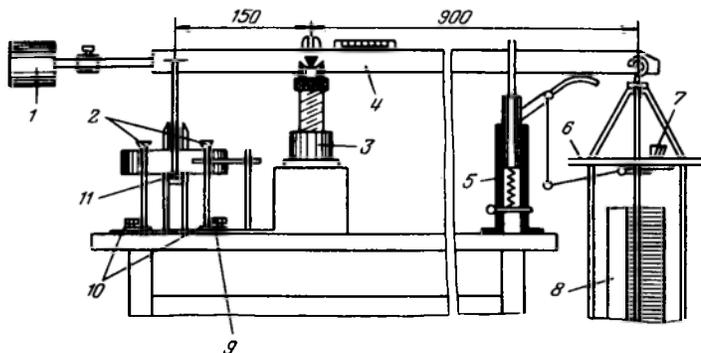


Рис. 5.1. Аппарат для определения механической прочности брикетов на изгиб

ный шкаф, где его сушат при этой температуре в течение 20 мин. Затем бьюсы (лодочки) охлаждают, взвешивают и расчетным путем находят содержание влаги.

Испытание готовых брикетов на механическую прочность производят по сопротивлению сжатию, изгибу, истиранию и ударной нагрузке (сбрасыванию).

Механическая прочность брикетов на сжатие определяется с помощью лабораторного гидравлического пресса. Для проведения испытаний отбирают семь внешне целых брикетов и поочередно подвергают их раздавливанию в прессе. По результатам испытаний, используя формулу (5.6), определяют механическую прочность (Па) брикетов на сжатие

$$\sigma_{\text{сж}} = \frac{p}{(d_1/d_2)^2}, \quad (5.6)$$

где p — среднее арифметическое значение раздавливающего давления, Па; d_1 и d_2 — диаметр соответственно поршня пресса и раздавливающей вставки, м².

Механическая прочность брикетов на изгиб определяется на аппарате, работающем по принципу весов (рис. 5.1). Излом брикета производится между призмами 2, 11. Средняя из них соединена с коротким плечом коромысла 4 и совершает с ним вертикальные движения. Боковые призмы могут передвигаться только по горизонтали. Это расстояние ограничено длиной брикета. Призмы устанавливаются в направляющих 9 и закрепляются на них винтами 10. Коромысло 4 покоится на опорной стойке 3. В конце длинного плеча подвешено приспособление 6 для укладки в него груза 8, 7. На коротком плече имеется стержень с уравновешивающим грузом 1. Под длинным плечом коромысла находится амортизатор 5. Усилие, необходимое для размола брикета, создают грузами 8, 7, устанавливаемыми в подвеске б.

Для расчета изгибающих усилий (Па), прикладываемых к брикету, можно воспользоваться формулой

$$\sigma_{\text{изг}} = 9ml/(bh^2), \quad (5.7)$$

где $\sigma_{\text{изг}}$ — сопротивление брикета изгибающим усилиям, Па; m — масса груза, кг; l — расстояние между нижними призмами, м; b , h — соответственно ширина и высота брикета, м.

Измерение ведется по средней арифметической массе груза m , определенной из семи масс испытываемых брикетов.

Механическая прочность брикетов на истирание определяется с помощью вращающегося барабана. Диаметр барабана 500 мм, частота вращения 25 мин^{-1} . Одновременно в барабан загружается 10 кг брикетов. После 100 оборотов барабан останавливается. Содержимое рассеивается на сите с отверстием 25 мм. Механическую прочность на истирание рассчитывают по формуле

$$\sigma_{\text{ист}} = 100 m_2/m_1, \quad (5.8)$$

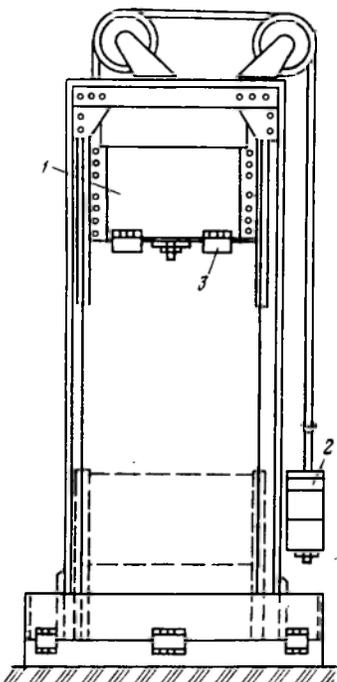


Рис. 5.2. Аппарат для определения механической прочности брикетов на сбрасывание:

1 — ящик для сбора брикетов; 2 — устройство для подъема загруженного ящика; 3 — система для открывания дна ящика

где $\delta_{\text{ист}}$ — сопротивление брикетов действию истирающих нагрузок, %; m_1 , m_2 — масса брикета до и после истирания в барабане, кг.

Механическая прочность брикетов на ударное воздействие (сбрасывание) оценивается при сбрасывании на чугунную плиту 4 кг брикетов с высоты 1,5 м. Сбрасывание производится с помощью специальной установки, изображенной на рис. 5.2. Установка представляет собой металлический ящик с открывающимся двухстворчатым дном. Габаритные размеры ящика: длина 300 мм, ширина 250 мм, высота 250 мм. Металлическая плита имеет толщину 15 мм, длину и ширину соответственно 1500 и 2000 мм. Плита оборудована деревянной отбортовкой на высоту 250 мм. В ящик загружают брикеты и сбрасывают их на металлическую плиту 4 раза. Затем брикеты рассеивают на сите с отверстием 25 мм. Механическую прочность брикетов на сбрасывание рассчитывают по формуле (5.8).

Испытание на водопоглощение и влагоустойчивость ведут в сосуде, где могут свободно на специальном

приспособлении с сетчатым дном разместиться от 7 до 10 брикетов. Сетчатое устройство в момент испытания не должно касаться дна. Сосуд заливают питьевой или дистиллированной водой. Испытываемые брикеты перед укладкой на сетчатое приспособление взвешивают. После чего окунают в воду так, чтобы сетчатое дно не касалось дна сосуда (лучше на глубину 30 мм от поверхности воды). Каменноугольные и рудные брикеты выдерживают в воде в течение 24 ч, а буроугольные — 2 ч. По истечении указанного времени сетчатое приспособление с брикетами вынимают из сосуда. Брикеты отстаивают в течение 2 ч и взвешивают. Влапоглощение определяют по формуле

$$W_{\text{полг}} = 100(m_2 - m_1)/m_1, \quad (5.9)$$

где $W_{\text{полг}}$ — доля поглощенной брикетом влаги, %; m_1 , m_2 — масса испытываемых брикетов до и после водопогружения, кг.

Одновременно методами определения механической прочности брикетов на сжатие или сбрасывание определяют влапоустойчивость.

Содержание мелочи в брикете определяется путем рассортировки. Из отобранной пробы извлекают целые брикеты и крупные куски (половинки брикетов и более). Оставшуюся часть пробы рассеивают на сите с отверстием 25 мм. Содержание мелочи есть процентное отношение массы подрешетного продукта к массе всей пробы.

Испытание на термостойкость проводится методом института по обогащению твердого топлива (ИОТТ). Сущность метода заключается в определении минимальной прочности брикета, которую он имеет в начале горения. Для этого брикеты помещают в муфельную печь и сдавливают стержнем, к которому прилагают усилие путем постепенного заполнения водой или мелкой дробью подвешенного к нему сосуда. Раздавливающее давление (Π_a) при горении брикета определяют по формуле

$$p = a + bQ, \quad (5.10)$$

где a и b — постоянные аппарата, определяемые при его тарировке; Q — масса, разрушающая брикет, кг.

Тарировка прибора производится при нагружении на рычаг следующих масс: 0; 0,1; 0,25; 0,5; 1,0 и 1,5 кг. По полученным значениям p строят тарировочный график и определяют значения a и b . Испытывают обычно 10 целых брикетов, помещая по одному в печь при 900° С. До раздавливания брикет находится в печи 1 мин. Затем на него опускают стержень и прикладывают разрушающую нагрузку. Второй брикет испытывают аналогично, но продлевая время нахождения в печи до 2 мин. Третий — до 3 мин и т. д. Далее в зависимости от времени пребывания брикета в печи и по значениям Q определяют p . Принято считать характеристику термостойкости по минимальному

давливающему усилию: очень хорошая — более 2 Па, хорошая — 1—2 Па, удовлетворительная — 0,7—1 Па и неудовлетворительная — менее 0,7 Па.

Слипаемость определяется для брикетов с органическими связующими. Для этого пробу в 5 кг помещают в термостат, где выдерживают ее в течение 3 ч. Затем охлаждают до 20—25° С. Если брикеты качественные, то они не слипаются.

5.3. КОНТРОЛЬ РАБОТЫ СУШИЛОК И ПРЕССОВ

Технологический контроль сушилок позволяет судить о ходе теплового процесса, производить его регулировку и предупреждать неполадки. Контроль ведется с помощью регистрирующих и записывающих устройств и приборов. Основными приборами теплотехнического контроля для газовых и паровых сушилок являются термопары, тягонапорометры, газоанализаторы, сигнализаторы и другие устройства. Термопары устанавливают в топке, на входе в сушилку и перед дымососом. Они могут работать в комплексе с самопишущими приборами. Тягонапорометры позволяют фиксировать разрежение в верхней части топки, до и после сушилки, пылеулавливающих аппаратов и дымососов. Газоанализаторы контролируют содержание кислорода в сушильном агенте за дымососом. Звуковые и световые сигнализаторы оповещают о повышении регламентированной температуры газов перед дымососом. Манометры и парорасходомеры контролируют параметры подаваемого в сушилку пара.

Современные сушильные установки имеют дистанционное управление контроля положения клапанов растопочных труб, степени раскрытия направляющих аппаратов дымососов и дутьевых вентиляторов, а также пуска основного и вспомогательного сушильного оборудования. Блокировочные устройства обеспечивают отключение подачи топлива в топку, пара в сушилку, пылевыдающих устройств, воды в случае падения давления в сети. В паровых сушилках дополнительно контролируются давление и расход пара, температура паровоздушной смеси на выходе из сушилки. Особое внимание уделяется беспрепятственному стоку конденсата. Для тарельчатых сушилок необходимо соблюдать постоянство параметров пара в каждой тарелке. Контролировать нормальное положение скребков, обеспечивающих оптимальную толщину слоя материала. Для контроля за тепловым процессом сушильные отделения оснащаются пультами местного, дистанционного и автоматического управления.

Контроль температурного режима в прессовом отделении сводится к следующему. При подготовке брикетной смеси фиксируются температуры полезного ископаемого, связующего и охлажденной смеси перед прессованием. Контролируют температуру в рабочих матрицах и формовочных элементах прессов, особенно до и после букельного сужения. В операции охлаждения опре-

деляется температура брикетов, выходящих из пресса и перед погрузкой в железнодорожные вагоны.

Для измерения температуры применяют термометры, термопары и термометры сопротивления. Термометр представляет собой стеклянный баллон, внутри которого проходит капилляр, заканчивающийся внизу шариком, наполненным рабочей жидкостью (ртуть, спирт и др.). Термопара — это устройство из двух спаянных проводников разных металлов. При воздействии температуры в месте спая возникает термоэлектродвижущая сила, фиксируемая гальванометром. В связи с тем, что термоэлектродвижущая сила очень мала для регистрации показаний температуры в комплексе с термопарой используют высокочувствительные милливольтметры и потенциометры. Эти приборы градуируются в соответствии с характеристикой термопар. Термопары бывают хромельалюмель (ХА), хромелькопель (ХК), платина-платинородий (ПП). В термометрах сопротивления используется свойство проводниковых материалов изменять электрическое сопротивление при нагревании или охлаждении. Они состоят из платиновой или медной проволоки (ленты), намотанной на каркас изолятора. Вся система помещается в защитную арматуру. К термометрам сопротивления придаются электромеханические и электронные уравновешенные мосты и логомеры.

Для измерения небольших давлений и разрежений применяют деформационные приборы с упругими и вялыми мембранами.

Для непрерывного измерения объемной концентрации кислорода используются автоматические промышленные самопишущие и показывающие магнитные газоанализаторы. Они работают по принципу парамагнитного эффекта кислорода. Подача газа в прибор осуществляется путем эжектирования и смешения с водой. Смесь, пройдя гидрокомпрессор, разделяется на газ и загрязненную воду. Газ поднимается вверх и поступает в газоанализатор, который автоматически определяет содержание кислорода. Вода и тончайшая пыль удаляются из прибора.

При работе на вальцовых прессах необходимо контролировать степень заполнения брикетной смесью межвалкового пространства. Чем больше поступает питания на валки, тем выше давление прессования и наоборот. Давление также зависит от зазора между валками: чем он больше, тем ниже давление. Давление контролируют по манометру гидравлической системы сжатия валков и степени выработки бандажных колец. Об интенсивности давления прессования можно судить по внешнему виду брикета, выходящего из пресса. Если брикет имеет плотную структуру и блестящую поверхность, давление удовлетворительное.

Следует обращать внимание на точность совпадения форм на бандажных кольцах двух вращающихся валков. Недопустимо смещение их друг относительно друга. Обычно несовпадение форм возможно в случае неравномерного износа осей валов или

их подшипников. Часто причиной является неточность установки бандажей на ремонтном заводе. Необходимо осуществлять контроль работы системы смазки всех трущихся узлов вальцового пресса.

Штемпельный пресс нормально работает, если ход штемпеля спокойный, без стуков и шума. При работе этого пресса следует контролировать крепление штемпеля, подачу смазки в подшипники, охлаждение головки пресса, состояние формовочных элементов, а также точность их расположения. Подошва формы, нажимная плита и формовочные плиты должны быть прямыми и хорошо отшлифованы. Важное значение для создания оптимальных усилий прессования имеет степень заполнения высушенным продуктом матричного канала, геометрия букеля, состояние нажимного устройства. Следует осуществлять постоянное удаление воздуха из загрузочного канала, во избежание избыточного давления прессования. Не допускается чрезмерное зажатие пресс-формы, приводящее к расслоению брикетов при выходе из пресса. Требуется систематическое удаление пыли из рабочей зоны пресса.

5.4. АВТОМАТИЗАЦИЯ И ДИСПЕТЧЕРСКИЙ КОНТРОЛЬ

На современной брикетной фабрике широко используются системы автоматического контроля, диспетчеризация производства и дистанционного управления технологическим процессом.

5.4.1. Автоматизация брикетной фабрики

Для обеспечения строгого соблюдения нормируемых показателей качества брикетов применяется система автоматического контроля и регулирования технологического процесса. Основными операциями, входящими в АСУ, являются прием и дозировка полезных ископаемых и связующих, сушка компонентов брикетной смеси и прессование. Осуществляется автоматический контроль работы котельной, погрузки железнодорожных вагонов и др.

Для автоматизации шихтовки полезных ископаемых и сыпучих связующих обычно применяют серийные автоматические дозаторы. Они обеспечивают непрерывный контроль и регулировку выдачи каждого компонента. Дозаторы оборудуют контролирующими и регулируемыми приборами. Работа последних основана на использовании специфических свойств дозируемых материалов (радиометрических, рентгенометрических, диэлектрических, магнитных и др.). Установленная аппаратура позволяет с большой точностью непрерывно контролировать весовой параметр, а также основные качественные показатели сырья. Показания приборов включаются в измерительную цепь записывающей аппаратуры.

Автоматизация сушки представляет собой сложную систему автоматического контроля и регулировки температурного режи-

ма, дозировки расхода твердого компонента, процесса горения топлива, а также систему автоматической защиты и блокировки на случай аварийных ситуаций. В трубах-сушилках рекомендуется содержание влаги высушенного материала регулировать путем изменения параметров сушильного агента. Для этого устанавливаются системы автоматического регулирования процессов сушки сырья и горения топлива, защиты и сигнализации забивания течек циклонов и нижней части трубы-сушилки.

Для барабанных сушилок автоматическое регулирование степени сушки материала рекомендуется осуществлять стабилизацией производительности по сырому продукту и параметрам отработанного сушильного агента. Автоматизация сводится к установке питателя-дозатора питания на барабан и измерению в нем температуры. Одновременно предусматривается система стабилизации температуры теплоносителя и необходимого аэродинамического режима.

Автоматизация пылеугольных топочных устройств сушилок связана с контролем и регулировкой расхода топлива при постоянной производительности сушилки по сырому материалу. В случае слоевого или факельно-слоевого сжигания твердого топлива стабилизации процесса горения достигают при строго постоянной подаче топлива. При этом процесс сушки контролируют и регулируют в автоматическом режиме путем изменения расхода влажного сырья, поступающего на сушку.

Сушилки «кипящего слоя» имеют две системы автоматического регулирования: одна — по параметрам теплоносителя; вторая — по температуре и влажности материала. Последняя, как показала практика, более проста и надежна. Структурная схема такой системы предусматривает поддержание постоянными: расхода сушильного агента через распределительную решетку реактора; температуры в «кипящем слое»; разрежения газовой смеси на выходе из реактора; соотношения топливо — воздух в топке.

Общим для всех сушилок является автоматическое непрерывное измерение содержания влаги в высушенном продукте. Это необходимо для того, чтобы доля влаги в материале, выходящем из сушилки, находилась в строго регламентированных показателях конкретной технологии брикетирования.

Автоматический контроль прессования представляет собой очень сложную техническую задачу. Ее решение до сих пор не однозначно. Сложность измерения удельного давления прессования в штемпельных прессах связана с большими ударными нагрузками, а в вальцовых прессах — с кратковременностью их действия. Основные методы измерения давления прессования — электрические с помощью тензометрических или пьезоэлектрических датчиков. Принцип действия последних основан на появлении электрических зарядов на поверхности некоторых кристал-

лических диэлектриков и электричества поляризации внутри них под влиянием механических воздействий, т. е. усилий прессования.

Тензометрический метод непрерывного измерения давления прессования испытывался на вальцовых прессах. Этот метод основан на изменении электрического сопротивления тензодатчиков под воздействием усилий прессования. Аналогичные измерения осуществлялись на магнитоэластичных датчиках при невысоких температурах брикетной смеси. По изменению намагничивания оценивалось давление прессования. Отдельные виды прессов, особенно малопроизводительные штемпельные, изготавливаются с автоматическим регулятором давления. Этот регулятор работает на основе самопроизвольного распределения жидкости в гидросистеме в случае превышения давления штемпеля выше установленного.

Современные вальцовые прессы имеют гидравлическую систему поддержания давления прессования, работающую как в автоматическом, так и ручном режимах. Гидравлическая система автоматически связана с устройством регулировки подачи брикетной смеси на валки и редуктором, передающим вращение валкам. Современные брикетные установки оборудованы системой автоматического контроля регулирования подачи твердого материала и связующих, степени их перемешивания, загрузки в малаксер и распределительную чашу вальцового пресса, а также интенсивности предварительной подпрессовки брикетной смеси.

Процесс охлаждения брикетов автоматизируется путем контроля и регулирования скорости движения ленты конвейера охлаждения в зависимости от температуры брикетов, поступающих на погрузку.

5.4.2. Диспетчеризация брикетного производства

Диспетчерская система контроля и управления брикетной фабрикой соединяет в себе руководство производством, связанное с точным соблюдением технологических норм процесса брикетирования. Диспетчеризация позволяет концентрировать в одном месте непрерывную информацию о работе отдельных аппаратов, технологических операций и всего производственного процесса. Диспетчер может активно управлять и вмешиваться в работу предприятия, обеспечивая плановый выпуск брикетов. Диспетчерская служба предупреждает и устраняет аварийные ситуации, нарушения и отклонения от нормируемой технологии как на отдельных операциях, так и в целом по фабрике. Диспетчерское управление на брикетной фабрике сводится к централизации контроля и регулирования работы основных и вспомогательных механизмов и оборудования, а также режимов основных и вспомогательных технологических операций.

Централизация предполагает одновременное фиксирование

результатов работы во всех производственных цехах и участках. Эту работу осуществляет диспетчер. В его ведении сосредоточиваются современные непрерывно действующие автоматические средства контроля. Поступающие сведения регистрируются соответствующими суммирующими приборами, находящимися на диспетчерском щите. Диспетчер на основании анализа постоянно поступающих данных и сравнения их с нормативными параметрами регулирует технологический процесс через прямую связь с обслуживающим персоналом фабрики.

На диспетчера фабрики возлагается:

контроль и координирование работы всех участков фабрики; обеспечение выполнения производственного плана по выпуску качественных брикетов;

своевременное предупреждение перебоев и неполадок в работе. Организация быстрой ликвидации возможных аварий и нарушений производства;

информация руководству о работе фабрики и аварийных остановках;

реализация оперативных распоряжений по фабрике;

ведение оперативной документации режима работы фабрики.

Диспетчерский пункт оборудуется специальным щитом. Этот щит концентрирует в себе художественно оформленную мнемосхему, изображающую последовательность технологических операций брикетного производства. На щите указывается основное оборудование в виде условных символов с сигнальными лампочками. Последние связаны с электропусковой аппаратурой основного оборудования, сигнализируя при загорании о работе данного агрегата. Диспетчерский щит оборудуется большим числом контрольно-измерительных приборов, световыми табло, самозаписывающей аппаратурой. Диспетчер концентрирует внутреннюю телефонную связь с каждым рабочим местом обслуживающего персонала, а также имеет внешний телефон. Современная брикетная фабрика радиофицирована, основные узлы оборудованы телеустановками. В диспетчерской устанавливается основная контрольно-сигнальная аппаратура пожаробезопасности. Диспетчерскую следует располагать с учетом прямого обзора прессового отделения.

Глава 6

БЕЗОПАСНОСТЬ БРИКЕТНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Брикетные фабрики являются опасными предприятиями по пожарам и взрывам. Основная причина опасности брикетного производства — пыль (особенно буроугольная). Производственную опасность могут представить и некоторые связующие ве-

щества. Безопасность брикетного производства во многом зависит от состояния энергосистемы и паросилового хозяйства фабрики.

6.1. БЕЗОПАСНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА НА БУРОУГОЛЬНЫХ БРИКЕТНЫХ ФАБРИКАХ

6.1.1. Пылеулавливание

Безопасность буроугольной фабрики следует оценивать с позиций борьбы с пылью и пожарами.

Основной средой, создающей пожаро- и взрывоопасность, является пыль бурого угля. Она содержит до 65% летучих веществ, сравнительно небольшую долю влаги (12—16%) и золы. Установлено, что при содержании летучих веществ в пыли более 30% и влаги менее 20% она является взрывоопасной, а при содержании влаги менее 35—40% — пожароопасной. Поэтому основные отделения — сушильное, прессовое, охлаждения и загрузки — относятся к категории взрыво- и пожароопасных, а дробильно-сортировочное — только к пожароопасным. Однако и в ДСО может произойти взрыв пыли, если она будет скапливаться и слеживаться длительное время, т. е. возникнет очаг самовозгорания. Опасной концентрацией пыли считается 30—50 г/м³.

Пыль, образовавшаяся в процессе брикетирования бурого угля, постоянно проникает в производственные здания. Наличие пыли на рабочих местах ухудшает условия труда. Пыль, улавливаемая аспирационными системами, зачастую выбрасывается в атмосферу, загрязняя окружающий воздух и территорию предприятия.

В целях борьбы с пылью на брикетных фабриках проводятся профилактические мероприятия. В первую очередь герметизируют конвейеры, заключают в кожухи оборудование и пылящую аппаратуру, предельно уменьшают высоту перепадов при транспортировке угля, используют закрытые желоба и трубы. Однако как бы тщательно ни выполнялись вышеперечисленные работы без установки мощных систем пылеулавливания и обеспыливания проблема борьбы с пылью не может быть решена.

Основной принцип работы системы пылеулавливания заключается в максимальном осаждении пыли из воздухо- и газопылевой смеси и возвращение ее при возможности на брикетирование. Существуют системы сухого, мокрого и комбинированного пылеулавливания. Для сухого улавливания пыли применяют вентиляционные системы с установкой простых и батарейных циклонов различных конструкций, а также электрофильтров. Эти системы хотя и громоздки, но позволяют свести потери до

минимума. Уловленная пыль возвращается на брикетирование. Мокрый способ более эффективен, КПД улавливания составляет 0,95—0,98. Однако уловленная пыль — шлам не всегда может быть использована. Зачастую шлам сбрасывается как отходы в илонакопители. При мокром пылеулавливании происходит повышенный коррозионный износ аппаратов. Комбинированный метод совмещает в себе преимущества первых двух и сводит до минимума недостатки мокрого метода. Мокрое пылеулавливание при комбинированном способе применяется лишь на последней стадии для осаждения небольших количеств тончайших твердых частиц.

Обеспыливание холодного и нагретого материала недопустимо в общей системе. При смешении выбрасываемых горячих и холодных пылевоздушных смесей происходит конденсация водяных паров. Залипают и замазываются воздухопроводы и пылеулавливающие аппараты. Для предотвращения подобных явлений рекомендуется термоизоляция.

Большое значение для нормальной работы пылеулавливающей системы имеет герметичность. В случае ее нарушения резко падают скорости движения воздуха, уменьшается давление и ухудшается эффективность улавливания пыли. Особого внимания заслуживает контроль воздухопроводов, где может скапливаться и загораться пыль. Перед включением системы такие участки тщательно проверяют. Недопустимо скапливание пыли и шлама в улавливающих аппаратах выше нормального уровня заполнения. В системах с мокрым пылеулавливанием не допускается отсутствие воды для орошения. Не допускается работа фабрики с отключенной системой обеспыливания и пылеулавливания.

Соблюдение пылевого режима на брикетной фабрике требует принятия специальных локальных мер на каждом участке, отдельной операции и индивидуальном аппарате. В дробильно-сортировочном отделении первичный отсев мелкого угля, направляемого непосредственно на сушку, должен производиться по возможности наиболее полно. Эта операция предотвращает переизмельчение угля и сокращает пыление на последующих ступенях дробления и классификации.

В сушильном отделении образование пыли зависит от типа сушильного аппарата и свойств угля. Поэтому в каждом отдельном случае для предупреждения пылеобразования необходимо учитывать характер обрабатываемого угля и тип сушильного аппарата.

В транспортных устройствах для перемещения сухого угля (скребковых и винтовых конвейерах) образование пыли происходит в результате движения рабочих органов. Большое пылеобразование наблюдается в винтовых конвейерах, особенно при недостаточной загрузке их углем. Для уменьшения пыления

необходимо регулировать скорость движения рабочих органов конвейеров. Постоянно поддерживать их полную рабочую загрузку, не допускать неплотностей в кожухах и крышках. Обеспечивать нормальную работу систем пылеулавливания.

В отделениях контрольного дробления пылеобразование происходит на вибрационных грохотах и валковых дробилках, где додрабливается уголь, имеющий влажность около 18%. Для уменьшения пыления рекомендуется предварительный отсев мелочи до вибрационного грохота. Его следует осуществлять через решетки в днище кожуха скребкового конвейера. Выделение пыли на этом участке может быть также уменьшено улучшением герметизации кожуха грохота и дробилки.

Большое выделение пыли из пресса происходит у входа штемпеля в матричный канал. По мере износа формовочных деталей увеличивается зазор между штемпелем и матрицами, а, следовательно, возрастает выделение пыли. Для предотвращения пыления необходимо соблюдать график замены формовочных деталей. После их замены крышки пресс-форм следует обмазать глиной, нажимное устройство поджать до требуемого уровня, пылеприемники плотно сочленить с соединительным жолобом.

В помещениях производственных цехов необходимо осуществлять уборку полов, стен, лестничных проемов. Уборка угольной пыли, отложившейся на стенах зданий и оборудовании, должна производиться не реже двух раз в течение рабочей смены. Лучше всего пыль смывать водой. Если же это осуществить нельзя, то следует использовать методы, исключающие возможность перехода пыли во взвешенное состояние, в том числе уборку промышленными пылесосами.

Помимо перечисленных эксплуатационных мер борьбы с пылью, *необходимо соблюдать строгое выполнение действующих норм и правил при строительстве новых брикетных фабрик.* В проектах и при строительстве недопустимо наличие в производственных зданиях острых углов, негладких поверхностей, больших выступов и других элементов, где может происходить скапливание пыли. Необходимые углубления, всевозможные выступы должны быть легко доступны для уборки пыли. Желательно, чтобы лестницы и перекрытия были изготовлены из железных решеток. Подоконники и внутренние балки должны иметь откосы под углом не менее 60°. Во всех производственных помещениях, где возможно образование пыли, стены и потолки должны быть гладкими, покрашенными, побеленными и удобными для постоянного наблюдения обслуживающим персоналом. Лучшим материалом для облицовки стен во взрывоопасных цехах является глянцевая плитка. Кожухи транспортных устройств и желоба, по которым перемещается сухой уголь, должны быть по возможности гладкими. Трубопроводы и желоба должны

иметь угол наклона, обеспечивающий беспрепятственное движение пыли. Особое значение имеет пылевой режим на электрофилтрах. Недопустимо нарушение нормального схода пыли из бункера. В противном случае может произойти замыкание электродов. Для этого необходимо следить за бесперебойной работой встряхивающего механизма.

6.1.2. Пожарная безопасность

Угольная пыль при нагреве до 60° С начинает активно поглощать кислород, нагреваться и самовозгораться. При температуре 160—200° С этот процесс настолько интенсифицируется, что самовозгорание становится практически неизбежным. В процессе горения пыли выделяются газы (оксид углерода и др.) и создается активная среда для взрыва. Наличие взвешенной в воздухе пыли, согласно санитарным нормам, допускается не более 10 мг/м³. Для ее контроля ежемесячно замеряется запыленность помещений каждого отделения фабрики. Результаты измерений заносятся в журнал.

Из-за опасности загорания и вспышки бурогоугольной пыли на брикетной фабрике вводится обязательный пылевой режим. Необходимо строго соблюдать правила пользования открытым огнем. Запрещается курение во всех производственных помещениях и на всей территории фабрики. К обслуживанию оборудования, аппаратов и механизмов допускаются лица, имеющие удостоверение о прохождении технического минимума и сдаче экзаменов по правилам безопасности.

Наиболее вероятными местами возникновения пожаров являются сушильное, дробильно-сортировочное, прессовое отделения, отделение электрофилтров и участки, где расположены транспортные устройства. Возникающие искры от трения или ударов движущихся частей конвейеров и элеваторов всегда могут быть источником пожара или взрыва пыли. Значительное пыление наблюдается на перегрузках транспортных устройств, в здании ДСО и др. Эти места отличаются особой пожаро- и взрывоопасностью. Искрение в процессе передвижения материала, его дробление создают опасность даже при работающей обеспыливающей системе.

Самовозгорание угля может произойти в тракте, подводящем высушенный материал в загрузочный канал пресса. Это в свою очередь инициирует загорание угля в загрузочном бункере пресса. Уголь может загораться в процессе прессования из-за трения с искрением абразивных включений. Особую опасность в данном случае представляет неравномерная, прерывистая загрузка штемпельного пресса, а также плохое уплотнение его пылепроводящих узлов.

Сушильное отделение как особо пожаро- и взрывоопасный объект рассматривается отдельно. Опасность воспламенения

имеется у готовых брикетов, если они загружаются в железнодорожные вагоны недостаточно охлажденными.

Для предупреждения самовозгорания или взрыва угольной пыли необходимо выполнять нормированные меры безопасности. Основные элементы производственных зданий и помещений (особенно полы, стены и выступающие поверхности, лестницы) и оборудование должны содержаться в абсолютной чистоте. Недопустимо отложение и накопление угольной пыли и мелочи. Места, особо опасные по скоплению пыли, должны находиться под неослабным наблюдением. Пыль на рабочих местах должна убираться каждую смену, а в местах, недоступных для уборки во время работы, должна убираться во время остановок фабрики или отдельных агрегатов. Необходимо систематически убирать пыль, накапливаемую на крышах зданий и сооружений. Во избежание отложений пыли стены всех производственных помещений и конвейерных галерей должны быть оштукатурены. Полки металлоконструкций, подоконники и другие подобные устройства в зданиях и сооружениях должны быть заоткошены под углом не менее 60°. Перечисленные элементы выполняются из материалов, позволяющих мокрую уборку пыли. Последняя осуществляется орошением или мягким смывом водой. Внутренние поверхности кожухов конвейеров должны быть гладкими, чтобы избежать образование в них искр при трении угля о металл. Дробильные установки оборудуются загрузочными устройствами с электромагнитными сепараторами для улавливания металла.

В целях пожарной безопасности на кольцевых прессах рекомендуется система защиты с циркуляцией охлажденного инертного газа. Содержание кислорода в инертном газе не должно превышать 16—17%, т. е. взрывоопасной концентрации. Инертный газ в системе должен периодически обновляться.

Для освещения производственных помещений, особенно тех, где большое пылеобразование, необходимо применять электролампы с предохранительными колпаками. Арматура и рефлекторы должны быть наклонены вниз. Для больших светильников (150—250 Вт) допустима внешняя температура не более 150° С. Каждая брикетная фабрика должна быть снабжена индикатором для ежесуточного определения оксида углерода в наиболее опасных местах. Присутствие оксида углерода указывает на наличие очага огня. В производственных помещениях необходимо установить достаточное число аппаратов для тушения огня, располагая их в таком порядке, чтобы любое место фабрики могло быть доступно для пожаротушения.

Тушение пожара производится пожарной охраной с участием производственного персонала. На каждой брикетной фабрике должен быть детально разработанный план ликвидации аварий, в котором особое внимание уделено борьбе со взрывами уголь-

ной пыли и пожарами. Каждый рабочий при поступлении на фабрику должен пройти технический минимум по технике безопасности и правилам борьбы с пожарами.

6.1.3. Безопасность работы сушильных отделений

Сушильное отделение — это одно из наиболее опасных в пожарном отношении производственных помещений. Для паровых сушилок температура сушки угля не должна превышать 85—95° С. В случае ее превышения возможны пересушка угля и его самовозгорание. Подобное может происходить вследствие ненормальной загрузки сушилки. Для предупреждения перегрева угля необходимо применять специальные приборы, контролирующие перебои в подаче угля и завышение температуры. Кроме того, контролируется температура паровоздушной смеси на выходе из сушилки, которая не должна быть выше 100° С. При загорании угля в сушильном барабане необходимо его остановить. Переключить выход конденсата в открытый бак. Открыть воздушный клапан на стороне загрузки. Одновременно выключить лопастные затворы на выходе сухого материала из барабана и осторожно открыть двери камеры-разгрузки. В трубках, где произошло загорание, торцевые части замазывают глиной или сырым углем. Не рекомендуется применять на сушке ленточные конвейеры и элеваторы, способствующие распространению пожаров.

Особого внимания заслуживает контроль за выходом высушенного продукта из сушилок. В этих местах возможно образование взрывоопасной концентрации пыли. Особую опасность представляет пыль тоньше 0,15 мм.

Бункера, оборудование и пылеулавливающая аппаратура в трактах сухого пылеулавливания снабжаются предохранительными клапанами. Сечение предохранительных клапанов определяется по объему и прочностным характеристикам оборудования. Предохранительные клапаны должны выполняться легко разрывными диаметром не более 1000 мм. Для этих целей используют мягкую жести или алюминиевый лист толщиной 0,5—1 мм. Посередине клапана делается надрез на величину половины его диаметра. Отводные трубопроводы со взрывными клапанами выводятся за пределы здания сушки. Клапан должен иметь уклон к горизонту не менее 45° и присоединяться к трубопроводам так, чтобы исключалось скапливание пыли в местах соединения.

Значительное число вспышек и загораний угольной пыли происходят в системах обеспыливания горячего сухого продукта. Для улучшения безопасных условий работы этих систем необходимо предусматривать пылепроводы большого сечения. Их уклон должен быть таким, чтобы не происходили осаждение и накопление пыли. В случае возникновения пожара в одном из пылепроводов его немедленно следует отключить. Для пре-

дотвращения распространения пожара на соседние пылепроводы необходимо закрыть шибер на всасывающем воздуховоде.

Большую опасность представляют электрофильтры как источник скопления тончайшей пыли и возможного искрообразования. Последнее явление в электрофильтрах отмечается в случае, если температура пара приближается к точке росы. В этот момент газовая среда становится проводником и в электрофильтре происходит короткое замыкание. Тонкая пыль получает при этом отрицательный заряд, концентрируется на положительно заряженных осадительных электродах и воспламеняется. Поэтому важно соблюдать температурный режим в электрофильтрах. Обеспечивать своевременное встряхивание осаждающих электродов. Контролировать работу встряхивающих устройств. Неудовлетворительное встряхивание (неполный сброс осевшей пыли с электродов) приводит к ее постепенной концентрации на электродах. Расстояние между ними сокращается и в какой-то момент увлажненная электродная пыль создает электрическую дугу. Пыль загорается, а при определенной концентрации пылевоздушной смеси происходит взрыв. При возникновении пожара в электрофильтре необходимо его выключить, впустить пар, переключить отвод пыли в шламовую канализацию, тщательно очистить от пыли. Рекомендуется ежеквартальная чистка электрофильтров и промывка их водой. Пожароопасная ситуация в электрофильтрах может возникнуть при недогрузах паровых сушилок. Для предотвращения пожара их блокируют с сушилкой по температурным параметрам и расходу пара.

6.2. БЕЗОПАСНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА НА БРИКЕТНЫХ ФАБРИКАХ СО СВЯЗУЮЩИМИ

Требования по безопасному ведению производства на брикетных фабриках для каменных углей и руд идентичны бурогольному, но менее жестки. Специфичными для этих фабрик являются лишь условия эксплуатации газовых сушилок и безопасность работы со связующими.

6.2.1. Безопасность работы газовых сушилок

Сушильные цеха относятся к категории производств с повышенной опасностью. Поэтому их располагают отдельно (что лучше) или в одном здании с прессовым отделением, но изолируя стеной. Эта стена должна иметь большую сопротивляемость давлению взрыва, чем наружные стены здания.

Сушилка должна находиться на минимальном расстоянии от места подготовки брикетной смеси, т. е. аппаратов дозировки угля (руды) и связующих. Она оборудуется мощной вентиляцией, подающей на сушку свежий воздух и отводящей отработанные газы, надежным аварийным и рабочим освещением. В помещении сушки необходимо обеспечивать надежное пыле-

улавливание и уборку пыли. Оборудование в цехе должно свободно располагаться с соблюдением нормативных проходов, хорошего доступа к лестничным клеткам. Здание должно иметь не менее двух выходов, остекление его должно составлять не менее 20—25% поверхности наружных продольных стен. Последние внутри лучше облицовывать плиткой. Сушильные агрегаты и наружные стены бункеров сухого продукта и пыли рекомендуется теплоизолировать. Нижняя часть разгрузочной камеры барабанной сушилки и бункеров высушенного продукта сушилок «кипящего слоя» должны иметь объем, соответствующий полной выгрузке всего материала, находящегося в данный момент в сушилке.

Объемное содержание кислорода в отработанных газах и их температура не должны превышать соответственно 19% и 130° С. Для предотвращения возможного взрыва содержание пылевидных частиц менее 0,1—0,12 мм должно быть минимальным.

Все тракты газовых сушилок оборудуются аварийной подачей пара на случай загорания материала. Вместо пара можно использовать воду.

В газовых трубах-сушилках для безопасной работы необходима полная герметичность. При подсосе воздуха в трубу увеличивается содержание кислорода. Возникает опасность воспламенения материала. Особо следует следить за герметичностью загрузочной и провальной частей трубы-сушилки.

В остальном требования безопасного ведения работ и мер по предупреждению пожаров и взрывов для газовых сушилок аналогичны вышеописанным для паровых сушилок буроугольных брикетных фабрик.

6.2.2. Безопасность работы со связующими

*Нефте*связующие требуют специальных мер безопасности особенно при их разгрузке в хранилище из железнодорожных бункеров. Во время опрокидывания оплавленной глыбы-связующего из бункера в хранилище следует находиться на расстоянии не менее 15 м от железнодорожной платформы. Эта мера необходима для предупреждения попадания горячего связующего при его разбрызгивании. Хранилище связующего должно быть ограждено высокими перилами, иметь крышу-навес. Паровые змеевики, шланги и запорная арматура в хранилище и на пункте выгрузки связующего должны быть исправными. Во избежание порыва трубопровода и потери тепла по трассе движения связующего необходимо с помощью манометров контролировать требуемое давление и следить за состоянием теплоизоляции. Течь горячего связующего может привести к обширным ожогам у обслуживающего персонала. Особо опасны в этом отношении места фланцевых соединений.

Запрещается производить ремонт трубопроводов во время

движения по ним горячего связующего. Считается опасным в пожарном отношении разогревать открытым огнем трубопроводы, в которых затвердело связующее. Во избежание пожара не разрешается очистка трубопроводов от связующего металлическими приспособлениями. Появление искры при этом может вызвать пожар.

При загорании связующего не допускается его тушение водой. Возможен взрыв. Нефтесвязующие следует тушить при пожаре песком, пеной или специальными порошками. Пожар на обширной площади тушат мощной струей пены.

Особую пожарную опасность представляет трубчатая печь для разогрева связующего до температуры 220—240° С. Пуск трубчатой печи начинается с обогрева ее змеевиковых регистров паром и вентиляции камерной части. После выполнения этих операций в трубчатую печь можно подавать нефтесвязующее. Одновременно включается отопление печи через мазутные форсунки. Не допускается работа последних без циркуляции связующего по змеевиковым регистрам. Запрещается работа трубчатой печи с порванными змеевиками. В случае порыва змеевика печь необходимо немедленно погасить и включить пар для пожаротушения. Одновременно следует остановить подачу связующего в печь и продукт трубопровод паром до полного выхода из него связующего. Запрещается эксплуатация трубчатой печи при неисправной контрольно-измерительной и сигнальной аппаратуре.

Твердые органические связующие, например каменноугольный пек, разрешается размещать только в специальных закрытых помещениях или напольных складах, оборудованных навесом. Не допускается прямое попадание в склад пека солнечных лучей во избежание его слипания, особенно в летнее время. Склад пека не должен продуваться ветрами. В нем не допускается пыление, так как взвешенная пыль вызывает ожоги и раздражение кожи. Пековый склад является пожаро- и взрывоопасным объектом. Недопустимо в нем ведение огневых работ без предварительных мер по уборке пыли, увлажнении обширной территории склада. Категорически запрещается в пековых складах курение и пользование открытым огнем.

Участок подготовки и дозировки пека, где производится его тонкое измельчение, должен быть тщательно герметизирован. Обычно такой участок располагается в отдельном здании с мощной вентиляционной системой. Электрооборудование и освещение на пековом участке устанавливаются только взрывобезопасными. Возникновение искры в работающем оборудовании чревато взрывом. В помещении пекоподготовки необходима систематическая мокрая уборка пыли.

При работе с каменноугольным пеком следует покрывать лицо и руки тонким слоем ланолина во избежание ожогов и раздражения кожи. В помещениях, где возможно пыление пека,

необходимо работать в защитных очках. Спецдежда должна тщательно облегать тело и застегиваться на манжеты. Стирка ее организовывается один раз в неделю. После работы следует тщательно мыться горячей водой с мылом, а глаза промывать 2%-м раствором борной кислоты.

Прием и хранение сульфит-спиртовой барды требуют соблюдения герметичности трактов и емкостей, по которым она перекачивается и хранится. Не допускается течи ССБ на обслуживающих площадках.

При работе с *тонкоизмельченными неорганическими связующими* следует в местах дозировки работать с применением респираторов. Все перепады по пути движения таких связующих должны быть тщательно герметизированы и оборудованы мощными аспирационными системами. Последние по своему аппаратурному оформлению во многом напоминают обеспыливающие установки сушилок. Места хранения пылевидных связующих должны быть защищены от действия атмосферных осадков и ветра. Работа с большинством связующих требует тщательной подгонки спецдежды, ношения защитных очков и перчаток.

6.3. ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Одна из важнейших задач брикетного производства — недопущение загрязнения окружающей среды. В первую очередь это связано с совершенствованием технологических процессов с целью сокращения вредных выбросов в атмосферу. Во-вторых, с созданием аппаратов и технологий по улучшению очистки газов от вредных примесей, а также контрольных приборов.

Выбросы дымовых газов и пыли представляют главную опасность загрязнения атмосферы. Значительный вред обслуживающему персоналу приносят так называемые «шумовые загрязнения». Они создают звуковую атаку на организм человека. Для брикетных фабрик характерно «тепловое загрязнение» окружающей среды. Оно прежде всего связано с выделениями теплоэлектроцентралей, сушильных установок и других участков, где используется тепло.

Коренное решение проблемы борьбы с загрязнениями должно быть связано с созданием замкнутых технологических циклов, внедрением безотходных систем, установкой нового высокоэффективного пылеулавливающего оборудования. Уже сейчас достигнуты определенные успехи в области создания аппаратов и устройств для очистки воздуха. В сушильных отделениях устанавливаются такие высокоэффективные электрофильтры, аппараты сухого и мокрого пылеулавливания. Трубы для выброса сушильных газов устанавливаются на большой высоте, что позволяет более безопасно рассеивать их в окружающей среде, снижая концентрацию вредных газов в атмосфере.

Внедряются высококачественные теплоизоляционные материалы и экранирующие покрытия.

Для борьбы с шумом применяются эластичные амортизационные устройства, легкие защитные покрытия, ограждающие шумовыделяющее оборудование.

6.3.1. Выбросы дымовых газов и пыли

Основными компонентами выбросов теплоэлектроцентралей, сушильных установок, участков подготовки связующих и других технологических отделений брикетных фабрик в атмосферу являются диоксид углерода CO_2 и водяной пар H_2O . Однако вместе с ними загрязняют окружающий воздух продукты неполного сгорания (CO , SO_2 , SO_3). В выбрасываемых дымовых газах содержатся также азотистые и хлористые соединения. Вместе с газообразными продуктами выделяются сажа, зольные и пылевидные частицы. В летучей зоне может содержаться также мышьяк, свободные оксиды кремния и кальция. В продуктах неполного сгорания обнаруживаются канцерогенные вещества (вызывают злокачественные опухоли в организме человека).

Санитарными нормами установлены *предельно допустимые концентрации (ПДК) пыли и других вредных веществ* в воздухе рабочей зоны производственных помещений, которые при периодическом воздействии или на протяжении всей жизни человека не оказывают на него вредного действия. За основную характеристику опасности вредного вещества принимают максимальную разовую ПДК. Для предупреждения общетоксического уровня и других влияний на организм человека введена характеристика среднесуточной ПДК.

На основании данных о ПДК для предприятий устанавливают *предельно допустимые выбросы (ПДВ)*. Они учитывают все возможные выбросы брикетной фабрики.

ПДВ устанавливают с таким расчетом, чтобы выбросы вредных веществ не превышали установленных норм ПДК. При этом должны учитываться перспективы развития брикетной фабрики, предусматриваться определенный запас на выбросы. В тех случаях, когда системы улавливания выбросов вредных веществ не обеспечивают требуемых ПДК, вводится порядок их поэтапного снижения. На каждом этапе устанавливаются временно согласованные выбросы (ВСВ). Их значения соответствуют выбросам аналогичных брикетных фабрик с наилучшими показателями.

Для расчета ПДВ используют нормативы допустимого содержания пыли в выбросах C_v , мг/м³. Для вентиляционного воздуха брикетной фабрики норматив C_v составляет при расходах воздуха более 15 000 м³/ч

$$C_v = 100k_2,$$

где k_2 — коэффициент, зависящий от ПДК;
при расходах воздуха 15 000 м³/ч и менее

$$C_n = (160 - 4Q)k_2,$$

где Q — объемный расход воздуха, тыс. м³/ч; k_2 принимают в зависимости от ПДК пыли в воздухе рабочей зоны конкретного производственного помещения.

6.3.2. Сбросы сточных вод

В очистные сооружения брикетных фабрик поступают сточные воды трех видов: производственные, бытовые и атмосферные.

Производственные воды используются на ТЭЦ, котельных, для уборки производственных помещений, в мокрых пылеуловителях и др. Промышленное водопотребление нормируется. Производственное водопотребление имеет замкнутый цикл с добавлением небольшого объема свежей воды от испарений и потерь. Производственные сточные воды могут иметь примеси: пылевидные частицы полезных ископаемых и твердых связующих, масляные фракции и органические связующие в основном в виде эмульсий, мельчайшие частицы корродированного металла.

Бытовые сточные воды представляют собой сбросы с раковин, санузлов, душевых и др. Они могут содержать остатки пищи, песок, фекалии, различные примеси органического и минерального происхождения, в том числе болезнетворные бактерии. Концентрация загрязнений в бытовых сточных водах зависит от разбавления их водопроводной водой.

Атмосферные сточные воды образуются в результате стока дождей, таяния снега и смыва производственной территории предприятия. Их концентрация зависит от чистоты производственной территории и количества выпадающих осадков. Она обычно ниже концентрации производственных сточных вод. Основные загрязнения в сточных атмосферных водах: механические частицы земли, песок, камень, дерево и нефтепродукты.

Расчет допустимого состава сточных вод, сбрасываемых в водные объекты, производится согласно Правилам охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами. Не допускается сброс воды за пределы брикетной фабрики с превышением установленных ПДК.

Очистка сточных вод на брикетных фабриках производится путем отстаивания механических примесей в шламовых отстойниках или илонакопителях. Эти установки оборудуются устройствами для возврата очищенной воды в оборотный цикл предприятия. За их работой осуществляется постоянный контроль по массовой концентрации водородных ионов — рН и др.

6.3.3. Шумовые, вибрационные и тепловые воздействия

Шум, вибрации и тепловые излучения в окружающие производственные помещения брикетной фабрики отрицательно влияют на здоровье человека. Прежде всего эти виды вредных воздействий повышают нервное напряжение людей, ухудшают восстановимость организма во время отдыха, приводят к развитию различных заболеваний. Предельные значения нормального восприятия человеком производственного шума составляют 75—80 дБ. Превышение этого уровня на 20—40 дБ уже вызывает болевые ощущения, а громкость в 130 дБ является пределом слухового восприятия человека.

На брикетных фабриках шумы и вибрации возникают при работе грохотов, дробилок, конвейеров, вентиляторов и другого оборудования. Шумы разделяются на постоянные (уровень звука меняется не более чем на 5 дБ) и непостоянные (изменение уровня звука превышает 5 дБ).

Основные меры по борьбе с шумом сводятся к замене шумовыделяющих машин и узлов на бесшумные, звукоизоляции агрегатов, созданию условий автоматического и дистанционного управления машин и механизмов, находясь вне действия их шума. Рекомендуются повсеместная замена открытых зубчатых соединений на редукторы, установка высокоэластичных муфт с резиновыми упругими элементами.

Вибрации воспринимаются человеком как сотрясения всего организма. В зависимости от частоты вибраций и их уровня у человека может появляться головокружение, затрудняются дыхание и речь, сонливость, быстрая усталость, звон в ушах и чувство тряски. При частотах вибрации более 15—20 Гц испытывается чувство страха, нарушается работа вестибулярного аппарата. Основные источники вибраций на брикетных фабриках — грохоты, прессы, вентиляторы и др.

Основные меры борьбы с вибрациями следующие: установка оборудования на виброзащитные фундаменты и виброизоляторы; устранение динамической неуравновешенности отдельных узлов вращающихся агрегатов; изменение жесткости крепления оборудования к фундаментам с целью уменьшения амплитуды колебаний. В местах сильных вибраций рекомендуется ношение виброзащитной обуви.

Тепловые воздействия при обслуживании паровых систем и сушильных установок приводят к постоянному перегреву организма, ослаблению его и легкой подверженности простудным заболеваниям. По этой причине на указанных участках требуется максимальная изоляция теплоизолирующих поверхностей. Не допускается нарушение режима вентиляции помещений, особенно сквозняков. Строго контролируется правильность ношения спецодежды с соблюдением сезонных норм.

7.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРОЕКТЕ

Проектом брикетной фабрики называется комплекс технических документов, обеспечивающих строительство, монтаж и эксплуатацию будущего предприятия.

Проект современной брикетной фабрики должен отражать следующие положения: рациональное и комплексное использование сырьевых ресурсов и отходов производства; применение высокопроизводительного оборудования, обеспечивающего полную механизацию и автоматизацию технологических процессов; осуществление максимального кооперирования новой фабрики с промышленными и бытовыми предприятиями данного района в части жизнеобеспечения производства и трудящихся; максимальное использование типовых проектных узлов, экономичное и компактное решение генерального плана будущей фабрики; обеспечение безопасных и санитарно-гигиенических условий работы трудящихся; применение эффективных способов защиты окружающей среды.

Проектированию брикетной фабрики предшествует разработка *технико-экономического обоснования (ТЭО)* на строительство предприятия.

В ТЭО обычно уточняют выпуск брикетов в целом для отрасли. Обосновывают производительность фабрики и место ее строительства. Устанавливают общие капитальные вложения на сооружение брикетной фабрики. Определяют укрупненные технико-экономические показатели, сопоставляя их с данными аналогичных отечественных и зарубежных предприятий.

После утверждения ТЭО приступают к проектированию. Крупные брикетные фабрики проектируют в две стадии, выполняя технический проект и рабочие чертежи. Для небольших предприятий ограничиваются проектированием в одну стадию, разрабатывая технорабочий проект.

Технический проект состоит из отдельных частей, включающих:

- пояснительную записку с расчетами и схемами;
- технико-экономическую часть;
- генеральный план;
- технология производства с мерами по защите окружающей среды;
- организацию труда и управление производством;
- строительную часть;
- организацию строительства;

организацию подготовки к освоению проектных мощностей; сметную часть.

Рабочие чертежи разрабатываются после утверждения технического проекта. Они включают в себя чертежи по установке оборудования, сетей и коммуникаций, архитектурно-строительных решений, а также нестандартного оборудования.

Разработке проекта брикетной фабрики предшествует составление задания на проектирование. Его разрабатывает проектный институт и заказчик. Задание на проектирование включает в себя:

данные о промышленной площадке;

сведения об экономике района строительства;

данные о сырьевых ресурсах;

нормативные материалы;

данные исследований на брикетируемость полезных ископаемых.

Брикетные фабрики классифицируют в зависимости от вида перерабатываемого полезного ископаемого на каменноугольные (антрацитовые); буроугольные; торфяные; рудные. В отдельных случаях фабрики могут быть комбинированные: каменно-буроугольные, рудно-угольные, торфо-буроугольные.

Технологический комплекс брикетирования включает в себя отдельные операции и схемы. *Технологической операцией* называется процесс механической обработки полезного ископаемого, произведенный с целью изменения его качества или разделения на продукты различного качества.

Технологическая схема брикетирования отражает данные о качестве и расходе обрабатываемого полезного ископаемого, получаемых продуктах его переработки и режиме обработки в отдельных технологических операциях. Схема брикетирования, отражающая только главные особенности технологической схемы, называется принципиальной.

Графическое изображение пути движения полезного ископаемого в процессе его обработки на соответствующих аппаратах брикетной фабрики называется *схемой оборудования*. Обычно на этой схеме указываются тип, размер и число аппаратов.

В расчетных формулах принимают следующие обозначения: абсолютные показатели — в тоннах в единицу времени; относительные показатели — в долях единицы или в процентах; нижний индекс — номер продукта (арабские цифры) и номер операции (римские цифры); верхний индекс указывает характерную для данного класса крупность зерен; Q_n — масса сухого продукта с номером n ; $\gamma_n = Q_n/Q_1$ — выход продукта по отношению к исходному сырью Q_1 ; a — размер отверстий сита, мм; d — крупность зерна, мм; i — ширина выпускной щели дробилки, мм; S — степень дробления.

Под *производительностью брикетной фабрики* понимают про-

изводительность прессового отделения по готовому брикету. Режим работы брикетной фабрики выбирается в зависимости от режима работы поставщиков сырья или потребителей брикетов.

7.2. КОМПОНОВОЧНЫЕ РЕШЕНИЯ

Компоновочные решения проектируемой брикетной фабрики (отдельного цеха) являются основой графической части проектов. Они представляют собой сложную композицию пространственно-планировочного размещения оборудования, его блокировку и связь в единый производственный комплекс. Размещение основного и вспомогательного оборудования обусловлено возможностями и выбранными методами строительного конструирования зданий и сооружений фабрики (цеха). Собственно компоновка оборудования и строительное проектирование тесно увязаны. Их разработка требует специальных навыков и знаний, а также практического опыта.

При разработке проектно-компоновочных решений следует создавать наиболее экономичные условия эксплуатации фабрики (цеха) с учетом максимальной механизации всех производственных процессов, минимальных капитальных затрат на строительство, обеспечения здоровых и безопасных условий работы.

Для выполнения названных требований необходимо учитывать следующие основные правила.

Оборудование располагается только вдоль или поперек основных осей зданий; установка его под углом недопустима.

Оборудование устанавливается так, чтобы число транспортируемых продуктов и расстояния, на которые они передаются, были наименьшими.

Основной поток движения продуктов должен быть самотечным; не допускаются чрезмерно длинные желоба.

Оборудование, выполняющее технологически связанные операции, следует размещать на одних отметках в одном или соседнем пролетах зданий.

Число машин необходимо принимать из условий максимальной их производительности для данного типа оборудования с учетом создания минимального числа секций. Последние размещаются на малых площадях и объемах зданий с предельно сокращенными внутрицеховыми коммуникациями.

Число перепадов и точек перегрузки материалов должно быть наименьшим.

Параллельно работающие секции следует укомплектовывать однотипным оборудованием с учетом возможности взаимозаменяемости однородных аппаратов как внутри секции, так и между ними.

Цехи (участки) с выделением вредных веществ должны быть изолированы.

Освещенность рабочих мест, удобство обслуживания и проведения монтажных и ремонтных работ, расположение оборудования относительно друг друга, наличие грузоподъемных средств должны быть выполнены строго в соответствии с правилами технической эксплуатации и техники безопасности.

Заглубления ниже нулевой отметки крайне нежелательны, их необходимо избегать.

Прессовое отделение располагается, как правило, в отдельном здании, оборудованном мощной системой вентиляции. Компоновка вальцовых прессов обуславливает строгую секционность брикетной фабрики. Компоновка штемпельных прессов предполагает секционность в зависимости от производительности принятых сушилок.

Высушенный продукт на presses следует подавать с минимальными перепадами. Прессы устанавливают друг от друга на расстояниях, обеспечивающих удобство их обслуживания и ремонта, на отметках выше нулевой в поперечном направлении. Вблизи прессов располагается контрольная аппаратура и механизмы экспресс опробования готовых брикетов.

Подъемно-транспортные устройства устанавливают с учетом возможности перемещения наиболее тяжелой детали пресса.

Смесители брикетной массы должны быть герметичными и оборудоваться вытяжной вентиляцией. То же относится к дозирочному оборудованию и транспортным устройствам.

Сушильное отделение располагается, как правило, в блоке с главным корпусом. Оно изолируется от главного корпуса стеной, выдерживающей сопротивление давления взрывных газов большее, чем остальные стены здания сушильного отделения.

Оборудование сушилок комплектуется по агрегатной (блочной) схеме: топка с растопочной трубой и комплектом индивидуальной аппаратуры для улавливания механических примесей.

В сушильном отделении не допускаются подвальные помещения. Требуется наличие двух выходов на каждом перекрытии. Технологическое оборудование должно иметь минимальную протяженность коммуникаций. Тракты высушенного угля не должны иметь «мешков» и тупиков, где может задерживаться пыль. Угол наклона газопроводов к горизонту должен составлять не менее 45°. На участок шлакоудаления следует подводить воду для гашения золы.

При проектировании брикетных фабрик необходимо применять типовые конструкции и изделия, в том числе из сборного железобетона. Оконные проемы, не предназначенные для вентиляции, следует заполнять остекленными неоткрывающимися переплетами или профильным стеклом. Открывание оконных переплетов, предназначенных для вентиляции, механизмуется. Ворота в зданиях должны изготавливаться распашными, откатными и подъемно-поворотными. Уклон маршей в лестничных

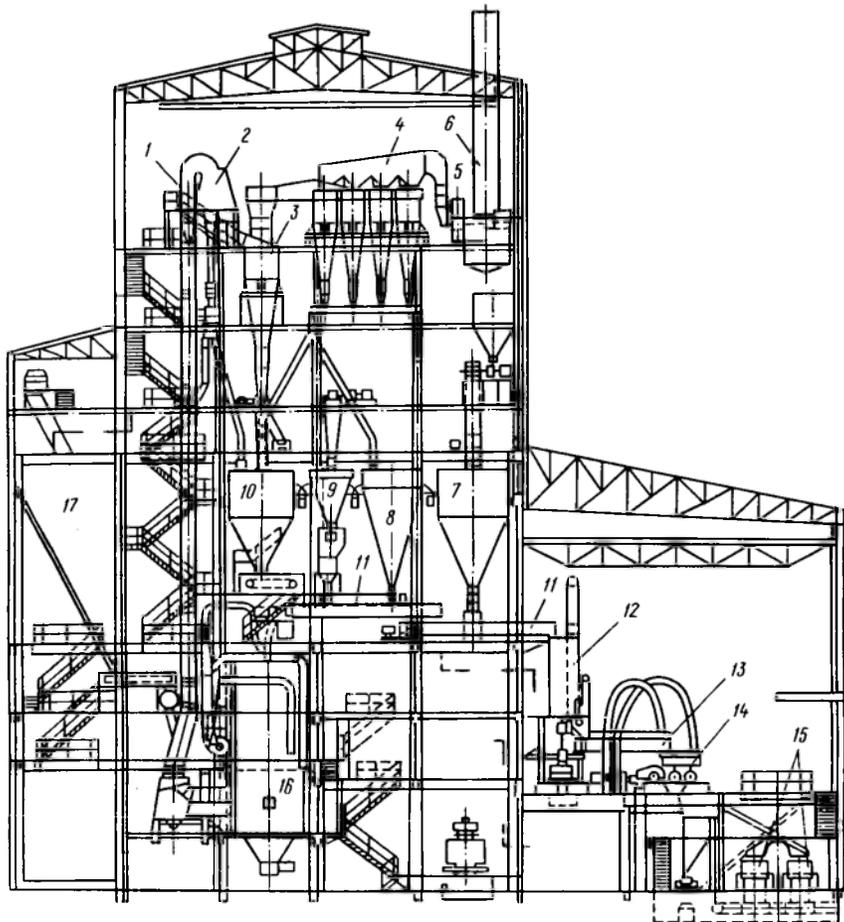


Рис. 7.1. Компонвочные решения отечественной брикетной фабрики, использующей твердое связующее:

1 — труба-сушилка; 2 — разгрузочная камера; 3 — циклон; 4 — батарейный пылеуловитель; 5 — дымсос; 6 — мокрый пылеуловитель; 7 — бункер боя брикетов; 8 — бункер тонкой пыли; 9 — бункер твердого связующего; 10 — бункер сухого угля; 11 — смесители; 12 — малаксер; 13 — шнек для охлаждения брикетной смеси; 14 — пресс вальцовый; 15 — конвейеры для охлаждения брикетов; 16 — топка сушки; 17 — бункер топлива

клетках следует принимать 1:2 при ширине проступи 0,3 м.

Здания брикетной фабрики, как правило, имеют простую прямоугольную форму в плане. Фасады их должны быть без ниш, поясков или других выступов, чтобы не задерживать сток атмосферных осадков. Здания и сооружения технологического комплекса не должны иметь подвальных помещений и цокольных этажей.

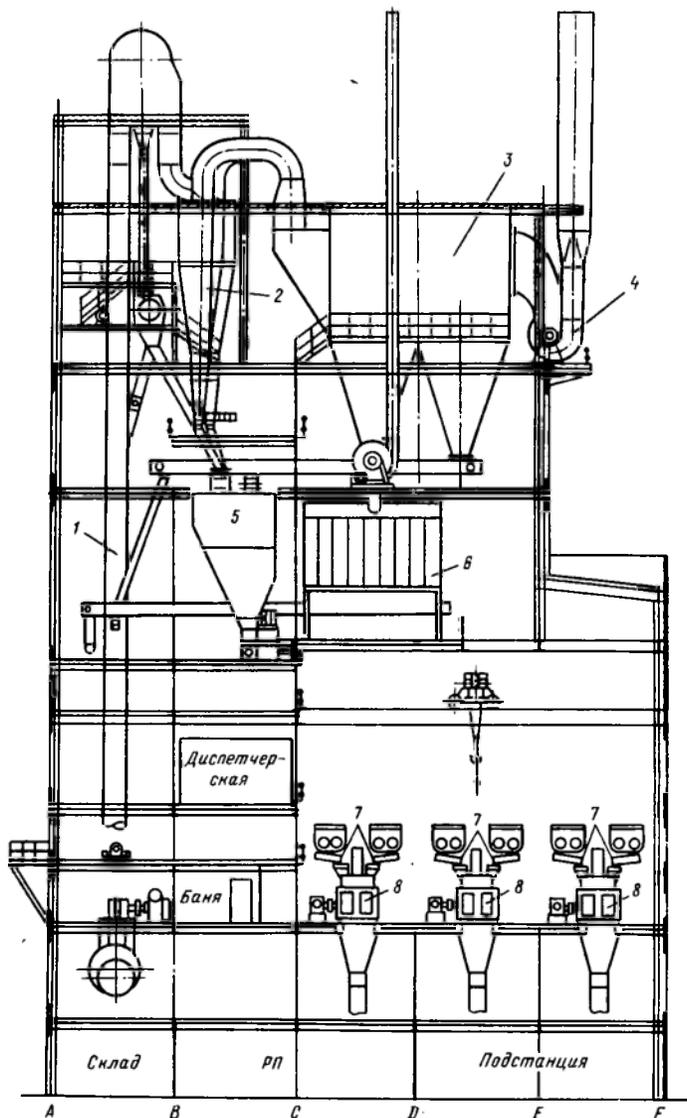


Рис. 7.2. Компонувочное решение брикетной фабрики ФРГ, использующей жидкое связующее:

1 — труба-сушилка; 2 — циклоны-сепараторы; 3 — электрофильтр; 4 — дымосос; 5 — бункер высушенного угля; 6 — обесцвливатель; 7 — винтовые конвейеры охлаждения брикетной смеси; 8 — вальцовые прессы

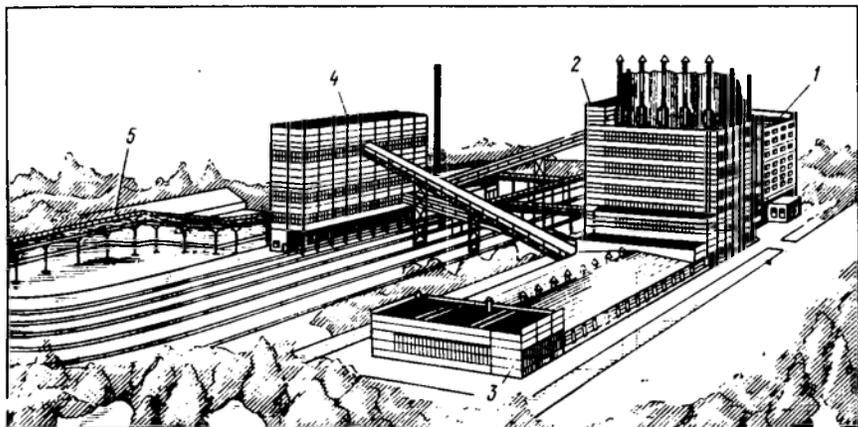


Рис. 7.3. Общий вид расположения отделений каменноугольной брикетной фабрики:

1 — отделение обогащения; 2 — сушильно-прессовое отделение; 3 — отделение охлаждения готовых брикетов; 4 — отделение погрузки брикетов; 5 — окислительная установка по производству нефтесвязующего

При проектировании зданий не допускается изломов стен в плане. Внутренние стены должны располагаться на всю ширину или длину здания, а поперечные несущие стены или рамы на расстоянии не более 12 м друг от друга. Оконные проемы выполняются одинаковыми и размещаются равномерно друг относительно друга. Необходимо обеспечивать связь сборных элементов и перекрытия между собой. Не допускаются местные ослабления стен в результате устройства ниш. Требуется применять армирование поясов, простенков и углов каменных стен.

Этажерки в зданиях должны проектироваться с таким расчетом, чтобы площади перекрытий использовались не менее чем на 70—80% (учитываются габариты оборудования и обслуживающих площадок). Они выполняются с сетками колонн $6 \times 6,9 \times 6$, 12×6 и высотой ярусов не менее 4,8 м, кратных 1,2 м. Отметки площадок должны быть кратными 0,6 м. Некоторые проектные компоновочные решения брикетных фабрик приводятся на рис. 7.1—7.5.

7.3. Расчет технологических схем

При разработке технологической схемы производят ее выбор и обоснование. Этот материал подробно изложен в соответствующих разделах гл. 3. Здесь приводятся лишь основные положения расчета технологических схем брикетирования полезных ископаемых со связующими и без них на примере каменноугольной и бурогоугольной брикетных фабрик.

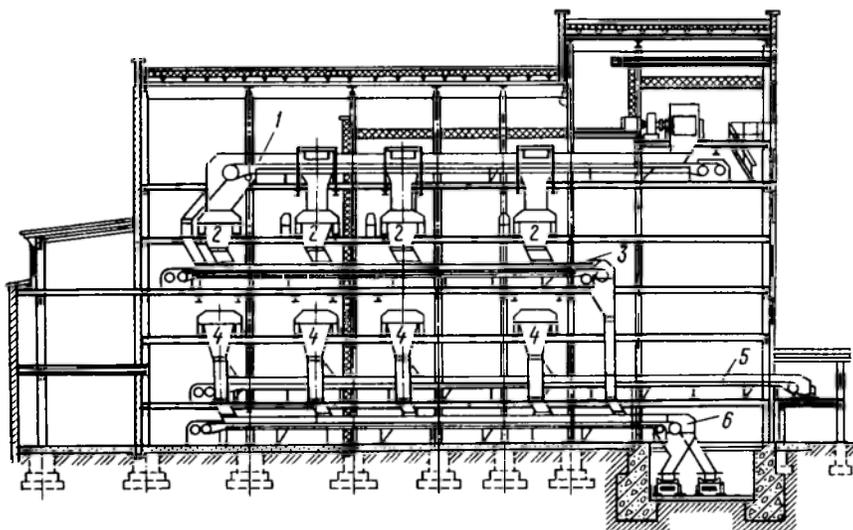


Рис. 7.4. Компонентные решения дробильно-сортировочного отделения бурогоугольной брикетной фабрики:

1, 3, 5, 6 — ленточные конвейеры для транспорта рядовых углей, котельного топлива и угля, идущего на брикетирование; 2, 4 — грохоты предварительной и подготовительной классификации угля

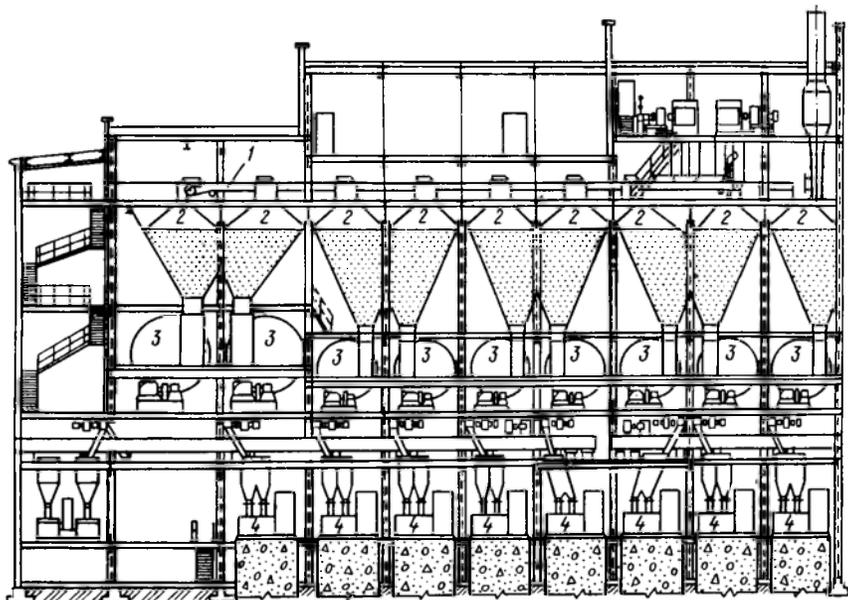


Рис. 7.5. Компонентные решения сушильно-прессового отделения бурогоугольной брикетной фабрики:

1 — конвейер угля, подготовленного к брикетированию; 2 — сушильные бункера сырого угля; 3 — барабанные трубчатые сушилки; 4 — штемпельные прессы

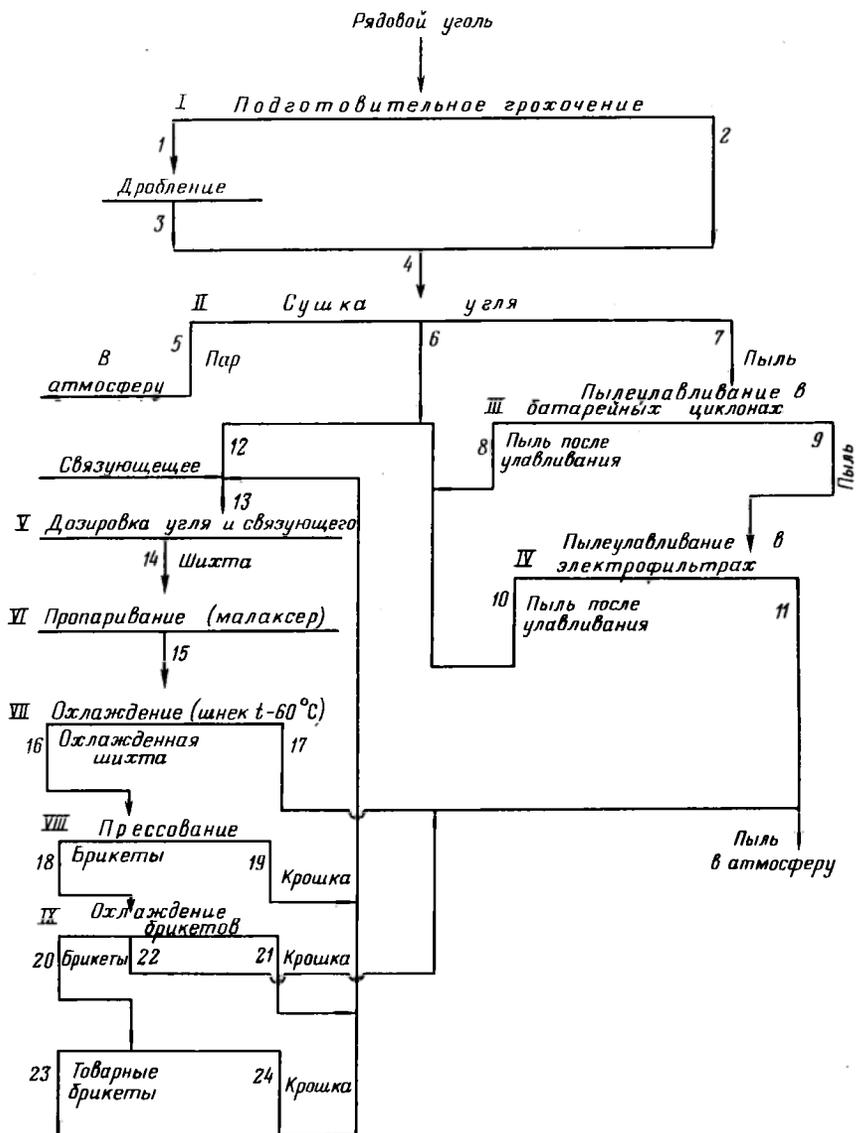


Рис. 7.6. Технологическая схема брикетирования каменного угля

7.3.1. Расчет технологической схемы каменноугольной брикетной фабрики

Расчет технологической схемы (рис. 7.6) осуществляется по данным ситовых анализов концентратов углей (антрацитов). В табл. 7.1 заносятся данные гранулометрических составов концентратов углей (продукт 1), антрацитов (продукт 2) и их смеси.

Влажность угольной смеси

$$W'_{см} = \frac{\gamma'_{см} W'_1 + \gamma_{см} W'_2}{\gamma'_{см} + \gamma_{см}}$$

где $\gamma'_{см}$ и $\gamma_{см}$ — выход соответственно угольного и антрацитового концентрата к смеси; W'_1 и W'_2 — влажность концентрата соответственно угольного и антрацитового.

Выход (%) данного класса одного из концентратов с учетом его процентного участия в угольной смеси определяется как

Таблица 7.1. Гранулометрический состав брикетируемых углей

Класс крупности, мм	Угли			Антрациты			Угольная смесь	
	$\gamma'_{кл.}$, %	$\gamma'_{см.}$, %	A^d_1 , %	$\gamma'_{кл.}$, %	$\gamma'_{см.}$, %	A^d_2 , %	$\gamma_{см.}$, %	$A^d_{см.}$, %
Более 6								
3—6								
1—3								
0,5—1								
0—0,5								
Итого								

$$\gamma'_{>6 см} = \gamma'_{>6 кл} / 100 \text{ и т. д.}$$

Общий выход (%) данного класса в угольной смеси

$$\gamma^{см}_{>6} = \gamma'_{>6 см} + \gamma'_{>6 см}$$

Общая зольность (%) данного класса угольной смеси

$$A^{д.}_{>6} = \frac{\gamma'_{>6 см} A^{d1}_{>6} + \gamma'_{>6 см} A^{d2}_{>6}}{\gamma^{см}_{>6}} \text{ и т. д.}$$

где $A^{d1}_{>6}$ и $A^{d2}_{>6}$ — зольность концентрата соответственно углей и антрацита в классе более 6 мм.

Подготовительные операции. Для достижения максимальной плотности упаковки угольных зерен в брикете необходимо класс более 6 мм раздробить. Режим дробления следует выбрать таким, чтобы обеспечить в дробленном продукте следующие выходы: класса 3—6 мм — 28—32%; класса 1—3 — 30—32%; класса 0—1 мм — 38—42%.

Определяем выход (%) и зольность (%) угольной смеси класса 3—6 мм с учетом дробления зерен более 6 мм

$$\gamma_{3-6} = \gamma_{3-6}^{см} + \frac{\gamma_{3-6}^{см} \gamma_{>6}^{см}}{\gamma_{>6}^{см}} \text{ и т. д.,}$$

где $\gamma_{3-6}^{см}$, $\gamma_{>6}^{см}$, $\gamma_{0-6}^{см}$ — выхода классов угольной смеси соответственно 3—6 мм, более 6 и 0—6 мм;

$$A_{3-6}^{дсм} = \frac{\gamma_{3-6}^{см} A_{3-6}^{дсм} + \gamma_{>6}^{см} A_{>6}^{дсм}}{\gamma_{3-6}^{см}} \text{ и т. д.,}$$

где $A_{3-6}^{дсм}$ и $A_{>6}^{дсм}$ — зольность классов угольной смеси соответственно 3—6 мм и более 6 мм.

Результаты расчетов заносятся в табл. 7.2.

Таблица 7.2. Гранулометрический состав угольной смеси после дробления класса более 6 мм

Класс крупности, мм	Выход, %	Зольность, %
3—6		
1—3		
0,5—1		
0—0,5		
Итого	100	

На основании данных табл. 7.2, исходной влажности угольной смеси до и после сушки, а также оптимального расхода нефтесвязующего рассчитываем *теоретический баланс продуктов брикетирования*.

Определяем выход (%) абсолютно сухой угольной смеси

$$\gamma_{см}^{аб.с} = \gamma_{см} - W'_{см}.$$

Принимаем долю влаги в угольной смеси после сушки 2—3%, расход нефтесвязующего по отношению к высушенной угольной смеси 7—8%, зольность и долю влаги нефтесвязующего соответственно 0,3 и 0%.

Определяем долю оставшейся влаги (%) в угольной смеси после сушки

$$R_{ост} = \frac{W_{суш} \gamma_{см}^{аб.с}}{(100 - W_{суш})},$$

где $W_{суш}$ — доля влаги в угольной смеси после сушки, %.

Определяем долю влаги (%), испарившейся из угольной смеси после сушки,

$$R_{исп} = W'_{см} - R_{ост}.$$

Определяем выход (%) угольной смеси после сушки

$$\gamma_{суш} = \gamma_{см}^{аб.с} + R_{ост}.$$

Определяем приведенный расход нефтесвязующего

$$n_{св}^f = \frac{n_{св} \gamma_{суш.}}{100 - n_{св}}$$

где $n_{св}$ — расход связующего, отнесенный к выходу брикетной смеси после сушки.

Результаты расчетов заносятся в табл. 7.3.

Т а б л и ц а 7.3. Теоретический баланс продуктов брикетирования

Наименование	Исходная угольная смесь		Брикетная смесь		
	Выход, %	Зольность, %	Выход к классу, %	Выход к смеси, %	Зольность, %
Абсолютно сухой уголь					
Влажность угля					
Влага испарения					
Нефтесвязующее					
Итого	100		Более 100	100	

По данным табл. 7.3 определяем необходимый расход угля (т/ч) в брикетной смеси для получения $Q_{бр}$ готовых брикетов

$$Q_{уг} = \frac{(\gamma_{см}^{аб.с} + R_{ост}) Q_{бр}}{\gamma_{бр см}^{кл}}$$

Определяем пересчетный коэффициент расхода абсолютно сухого угля K (т/ч) к его общий расход $Q_{общ}$ (т/ч):

$$K = Q_{уг} / \gamma_{см}^{аб.с}; \quad Q_{общ} = 100K.$$

Для отделения из угольной смеси класса более 6 мм принимаются вибрационные грохоты. По данным практики, эффективность грохочения при удельной производительности (на 1 м² сита) 4—6 т/ч при доле влаги менее 6% составляет 80%; при доле влаги 6—8% — 78%; при доле влаги 8—10% — 75%.

Определяем выход (%), зональность (%), расходы (т/ч) твердого и влаги для надрешетного продукта

$$\gamma_1 = \gamma_{>6}^{см} + (1 - \eta) \gamma_{0-6}^{см};$$

$$A_1^d = \frac{\gamma_{>6}^{см} A_{>6}^{д см} + (1 - \eta) \gamma_{0-6}^{д см} A_{0-6}^{д см}}{\gamma_1};$$

$$Q_1 = \frac{\gamma_1 Q_{общ}}{100};$$

$$R_1 = \frac{W'_{см} Q_1}{100 - W'_{см}}.$$

Определяем по разности между угольной смесью и надрешет-

ным продуктом выход γ_2 (%), зольность A_2^d (%), расходы (т/ч) твердого Q_2 и влаги R_2 для подрешетного продукта.

Определяем соответствующие параметры дробленого продукта 3 и его смеси с подрешетным 4.

$$\begin{aligned}\gamma_3 &= \gamma_1; & A_3^d &= A_1^d; \\ Q_3 &= Q_1; & R_3 &= R_1; \\ \gamma_4 &= \gamma_2 + \gamma_3; & A_4^d &= A_{см}^d.\end{aligned}$$

Сушка. Определим выход (%), расходы (т/ч) твердого и влаги для высушенного продукта с учетом потерь угля в пылегазовой смеси, равных 3—5% исходного питания сушки

$$\gamma_6 = \gamma_4 \psi,$$

где ψ — кпд пылеулавливания в системе сушильной установки;

$$Q_6 = \frac{\gamma_6 Q_{общ}}{100}; \quad R_6 = \frac{\psi Q_6}{100 - \psi}.$$

Определяем выход (%), расходы (т/ч) твердого и влаги для пылегазовой смеси

$$\gamma_7 = \gamma_4 - \gamma_6; \quad Q_7 = \frac{\gamma_7 Q_{общ}}{100};$$

$$R_7 = \frac{\psi Q_7}{100 - \psi}.$$

Определяем расход (т/ч) испаренной влаги

$$R_5 = R_4 - (R_6 + R_7).$$

Определяем зольность (%) высушенного продукта

$$A_6^d = \frac{\gamma_4 A_4^d - \gamma_7 A_7^d}{\gamma_6}.$$

Определяем выход (%), зольность (%), расходы (т/ч) твердого и влаги в пылевом продукте, уловленном в батарейных циклонах (кпд последних принимаем 88—92%)

$$\gamma_8 = \gamma_7 \eta_{б.ц.},$$

где $\eta_{б.ц.}$ — кпд батарейных циклонов;

$$Q_8 = \frac{\gamma_8 Q_{общ}}{100}; \quad A_8^d = A_{цз0,5}^d;$$

$$R_8 = \frac{\psi Q_8}{100 - \psi}.$$

Определяем выход (%), зольность (%), расходы (т/ч) твердого и влаги для продуктов уноса батарейных циклонов

$$\gamma_9 = \gamma_7 - \gamma_8; \quad Q_9 = Q_7 - Q_8;$$

$$A_9^d = A_7^d; \quad R_9 = R_7 - R_8.$$

Определяем выход (%), зольность (%), расходы (т/ч) твердого и влаги для продукта, уловленного в электрофильтрах (кпд последних принимаем 96—99%)

$$\gamma_{10} = \gamma_9 \eta_3,$$

где η_3 — кпд электрофильтров;

$$Q_{10} = \frac{\gamma_{10} Q_{\text{общ}}}{100}; \quad A_{10}^d = A_9^d \eta_{0,5};$$

$$R_{10} = \frac{\psi Q_{10}}{100 - \psi}.$$

Определяем выход (%), зольность (%), расходы (т/ч) твердого и влаги в пылевом продукте, выбрасываемом в атмосферу,

$$\gamma_{11} = \gamma_9 - \gamma_{10}; \quad Q_{11} = Q_9 - Q_{10};$$

$$A_{11}^d = A_{10}^d; \quad R_{11} = R_9 - R_{10}.$$

Материальный и тепловой баланс пневмогазовой сушилки рассчитываем исходя из часовой производительности по следующим уравнениям:

$$G_1 = G_2 + W_1;$$

$$G_1 = G_2 \frac{100 + W_1}{100 + W_2}; \quad G_2 = G_1 \frac{100 + W_2}{100 + W_1};$$

$$G_c = G_1 \frac{100 - W_1}{100} = G_2 \frac{100 - W_2}{100};$$

$$R_{\text{исп}} = \frac{G_1 W_1 - G_2 W_2}{100},$$

где G_1 и G_2 — расход угля, входящего в сушилку и выходящего из нее, кг/ч; G_c и $R_{\text{исп}}$ — расход сухого угля и испаренной влаги, кг/ч; W_1 и W_2 — начальная и конечная влажность угля, %.

Так как испаренная влага удаляется из сушилки с сушильным агентом, то

$$R_{\text{исп}} = L(d_2 - d_1/1000),$$

где L — расход абсолютно сухого сушильного агента, входящего в сушилку и выходящего из нее, кг/ч; d_1 и d_2 — влагосодержание сушильного агента при входе в сушилку и выходе из нее, кг/г.

Тепловой баланс сушилки складывается из расхода тепла на испарение влаги q_0 , нагрев угля q_m , а также потерь тепла в окру-

жающую среду q_5 и с отходящими газами q_2 . Суммарный расход тепла (кДж) на 1 кг испаренной влаги

$$\Sigma q = q_0 + q_m + q_5 + q_2.$$

С учетом потерь тепла в топке его расход

$$q = \Sigma q / \eta,$$

где η — КПД топки сушки.

Основные уравнения для учета расхода тепла (кДж/кг) следующие:

$$q_0 = 595 + 0,47(t_2 - T_1),$$

где t_2 — температура сушильного агента, выходящего из сушилки, К; T_1 — температура угля перед сушилкой, К;

$$q_m = \frac{G_2}{R_{\text{исп}}} C_m (T_2 - T_1);$$

$$C_m = C_0 \frac{100 - W_2}{100} + \frac{W_2}{100},$$

где T_2 — температура материала после сушилки, К; C_m — удельная теплоемкость высушенного угля, кДж/(кг·К); $C_0 = 0,76 \div 1,13$ кДж/(кг·К).

Для упрощения расчетов q_5 принимают 5—10% общих потерь или 125—250 кДж/кг.

$$q_2 = l_{c,r} (C'_r + 0,001 d_1 C_{в,п}) (t_2 - t_0);$$

$$l_{c,r} = \frac{q_0 + q_m + q_5}{C'_r t_1 - C''_r t_2},$$

где C'_r и C''_r — удельная теплоемкость сушильного агента на входе в сушилку и выходе из нее, кДж/(кг·К); t_1 — температура сушильного агента на входе в сушилку, К; t_0 — температура окружающей среды, К; $C_{в,п}$ — удельная теплоемкость 1 кг пара в сушильном агенте, кДж/(кг·К); $l_{c,r}$ — расход сухих газов, кг/кг.

Расход воздуха (кг) на 1 кг испаренной влаги

$$l = \frac{L}{R_{\text{исп}}} = \frac{1000}{d_2 - d_1}.$$

Расход топлива (кг/ч), сжигаемого в топке сушилки

$$B = \frac{l_{c,r}}{G_{c,r}} R_{\text{исп}},$$

где $G_{c,r}$ — расход сухих газов, кг/кг.

Для расчета трубы-сушилки дополнительно требуется установить скорость витания угля, диаметр и длину трубы. Скорость

витания (м/с) приближенно определяется по формуле

$$v_{\text{внт}} = 5,22 \sqrt{\frac{d_y \gamma_y}{\gamma_r}},$$

где d_y — диаметр частицы угля, м; γ_y и γ_r — плотность угля и сушильного агента, кг/м³.

По скорости витания определяют скорость сушильного агента

$$v_r = 1,25 \div 1,50 v_{\text{внт}}.$$

Диаметр (м) трубы-сушилки рассчитывают по формуле

$$D_{\text{тр}} = \sqrt{\frac{4V_r}{3600\pi v_r}},$$

где V_r — расход сушильного агента, м³/ч.

Длина (м) трубы-сушилки рассчитывается по напряжению трубы по испаренной влаге A :

$$L_{\text{тр}} = \frac{4W}{\pi D_{\text{тр}}^2 A}.$$

В расчетах A можно принять для сыпучих материалов 300—600 кг/(м³·ч), для вязких (шламов) — 200—300 кг/(м³·ч).

Расчет барабанной сушилки сводится к определению диаметра и длины барабана. Диаметр (м) рассчитывают по предельно допустимой скорости газов на выходе из барабана:

$$D_6 = \sqrt{\frac{4F_6}{\pi}}; F_6 = \frac{V_r}{3600(1-\epsilon)v_r^{\text{вых}}},$$

где F_6 — площадь сечения барабана, м²; ϵ — коэффициент заполнения барабана углем (обычно 0,2—0,25); $v_r^{\text{вых}}$ — допустимая скорость сушильного агента на выходе из барабана, м/с. Она определяется по следующей эмпирической формуле В. А. Филиппова:

$$v_r^{\text{вых}} = \left(0,5 v_{\text{внт}}^{0,25} \frac{M_{\text{ср}}}{B}\right)^{0,25} \left(\frac{W_2}{W_{\text{max}}}\right)^{1,5},$$

где $M_{\text{ср}}$ — средняя массовая концентрация материала в сушильном барабане, кг/кг; B — параметр, характеризующий насадку (для секторной $B=0,35$, для лопастной $B=0,105$); W_{max} — максимальная влагоемкость угля, %; при $W_2 \leq W_{\text{max}}$ отношение $W_2/W_{\text{max}}=1$.

Длина (м) барабана определяется по формуле

$$L_6 = \frac{R_{\text{исп}}}{A F_6}.$$

Напряжение сушильного барабана по испаренной влаге [(кг/(м³·ч)] для угольных частиц менее 13 мм можно установить по следующей эмпирической формуле:

$$A = 0,8 \frac{\gamma_r v_r^{\text{вмх}}}{\sqrt{d_y}} n B^{0,5} \sqrt{\varepsilon \frac{\text{tg} \beta}{\text{tg} \psi}} \left(\frac{W_2}{W_{\text{max}}} \right)^{0,25},$$

где ψ — угол естественного откоса угля, градус; n — частота вращения барабана; β — угол наклона барабана, градус.

Более подробный расчет барабанной газовой сушилки приведен в книге К. Г. Руденко, И. М. Шемаханов. Обезвоживание и пылеулавливание на углеобогатительных фабриках. М., Недра, 1981.

Для расчета сушилки «кипящего слоя» необходимо решить задачу о переводе угля в псевдооживленное состояние. Для этого необходимо установить значения следующих параметров:

перепад давления (Па) в «кипящем слое»

$$\Delta p_{\text{сл}} = H(1 - \varepsilon)(\gamma_y - \gamma_r);$$

$$H = H_0(1 - \varepsilon_0)/(1 - \varepsilon);$$

$$\varepsilon_0 = 1 - \gamma_y^{\text{нас}}/\gamma_y,$$

где H и H_0 — высота соответственно «кипящего» и неподвижного слоя, м; ε и ε_0 — порозность соответственно «кипящего» и неподвижного слоя; $\gamma_y^{\text{нас}}$ — насыпная масса угля, кг/м³;

площадь решетки сушилки (м²)

$$F_{\text{реш}} = \frac{M}{\Delta p_{\text{сл}}} = \frac{l}{3600 v_{\text{кр}} \gamma_r},$$

где M — масса угольных частиц в «кипящем слое», кг; $v_{\text{кр}}$ — критическая скорость, выше которой наступает пневмотранспорт (унос) угольных зерен; $v_{\text{кр}} = 0,15 \div 0,20 v_{\text{внт}}$;

средняя продолжительность (с) пребывания частиц угля в «кипящем слое»

$$\tau = \frac{M}{0,5(M_1 - M_2)},$$

где M_1 и M_2 — начальная и конечная масса угля, поступающего в течение часа на сушку, кг.

Смешение и дозировка компонентов брикетной смеси. Определяем выход (%), зональность (%), расход (т/ч) высушенного угля и долю влаги в нем (%):

$$\gamma_{12} = \gamma_6 + \gamma_8 + \gamma_{10};$$

$$A_{12}^d = (\gamma_6 A_6^d + \gamma_8 A_8^d + \gamma_{10} A_{10}^d) / \gamma_{12};$$

$$Q_{12} = Q_6 + Q_8 + Q_{10}; \quad W_{12} = W_6 + W_8 + W_{10}.$$

Выход, зольность, доля влаги и содержание связующего в брикетной смеси принимаются соответственно: $\gamma_{13} = 7 \div 8\%$, $A_{13}^d = 0,2 \div 0,5\%$; $W_{13} = 0\%$;

$$Q_{13} = \frac{\gamma_{13} Q_{\text{общ}}}{100}.$$

Определяем выход (%), зольность (%), долю влаги (%) и расход (т/ч) брикетной смеси без учета боя брекетоов:

$$\gamma_{6.c} = \gamma_{12} + \gamma_{13}; A_{6.c}^d = \frac{\gamma_{12} A_{12}^d + \gamma_{13} A_{13}^d}{\gamma_{6.c}};$$

$$W_{6.c} = W_{12}; Q_{6.c} = Q_{12} + Q_{13}.$$

Определяем выход (%), зольность (%), циркулирующую нагрузку (т/ч) и расход влаги (т/ч) исходя из условий практики (общий выход крошки 5—7%, в том числе после прессования 3—5%, охлаждения — 1—2% и погрузки — 1—2%):

$$\gamma_u = \gamma_{6.c} \frac{5 \div 7}{100};$$

$$A_u = A_{6.c}^d; Q_u = \frac{\gamma_u Q_{\text{общ}}}{100};$$

$$W_u = \frac{(100 - \psi) Q_u}{\psi}.$$

Результаты расчетов общей циркулирующей нагрузки и ее значений для отдельных операций заносятся в табл. 7.4.

Таблица 7.4. Данные по циркулирующей нагрузке

Наименование операции	Номер продукта	Циркулирующая нагрузка			
		Выход, %	Зольность %	Расход, т/ч	
				твердого	влаги
Прессование					
Охлаждение					
Погрузка					
Итого					

Определяем выход (%), зольность (%), расходы (т/ч) твердого и влаги для брикетной смеси с учетом циркулирующей нагрузки:

$$\gamma_{14} = \gamma_{12} + \gamma_{13} + \gamma_u; A_{14}^d = A_{6.c}^d;$$

$$Q_{14} = Q_{12} + Q_{13} + Q_u; W_{14} = W_{12} + W_{13} + W_u.$$

Расход пара для работы малаксера принимаем по данным практики равным 0,15—0,20 т/т. Увлажнение брикетной смеси (т/ч) достигает 3—4% и составляет

$$W_{\text{пар}} = (0,15 \div 0,20) Q_{14}.$$

Определяем влажность (%) и расход влаги (т/ч) для брикетной смеси до и после пропаривания:

$$W'_{14} = \frac{100W_{14}}{Q_{14} + W_{14}}; \quad W'_{15} = W'_{14} + (3 \div 4);$$

$$W_{15} = \frac{Q_{14}W'_{15}}{100 - W'_{15}}.$$

Определяем расход испаряемой влаги (т/ч) во время обработки брикетной смеси в малаксере, выход (%), расход твердого (т/ч) и зольность (%):

$$W_{15} = W_{\text{исп}} = W_{\text{пар}} - W_{15} - W_{14};$$

$$\gamma_{15} = \gamma_{14}; \quad Q_{15} = Q_{14}; \quad A'_{15} = A'_{14}.$$

При охлаждении брикетной смеси влажность снижается на 1,5—2% и составляет

$$W'_{16} = W'_{15} - (1,5 \div 2).$$

Определяем выход (%), зольность (%), расходы (т/ч) твердого и влаги для охлаждения брикетной смеси:

$$\gamma_{16} = \gamma_{15}; \quad A'_{16} = A'_{15}; \quad Q_{16} = Q_{15};$$

$$W_{16} = \frac{Q_{16}W_{16}}{100 - W_{16}}.$$

Определяем расход испаренной влаги (т/ч) при охлаждении брикетной смеси:

$$W_{17} = W_{15} - W_{16}.$$

Прессование. Определяем выход (%), зольность (%), подачу брикетов (т/ч) и расход влаги (т/ч), а также долю влаги в них (%):

$$\gamma_{18} = \gamma_{16} - \gamma_{19}; \quad A_{18} = A_{16};$$

$$Q_{18} = Q_{16} - Q_{19}; \quad W_{18} = W_{16} - W_{19};$$

$$W'_{18} = \frac{100W_{18}}{W_{18} + Q_{18}}.$$

Данные о продукте 19 приводятся в табл. 7.4.

Охлаждение брикетов. Определяем долю влаги (%), выход (%), зольность (%), подачу охлажденных брикетов (т/ч) и расход влаги (т/ч) (во время охлаждения происходит снижение влаги в брикетах на 0,5—1%):

$$W'_{20} = W'_{18} - (0,5 \div 1);$$

$$\gamma_{20} = \gamma_{18} - \gamma_{21}; \quad A'_{20} = A'_{18};$$

$$Q_{20} = Q_{18} - Q_{21}; \quad W_{20} = \frac{Q_{18}W'_{20}}{100 - W'_{20}}.$$

Данные о продукте № 21 приводятся в табл. 7.4.

Определяем расход испарившейся влаги (т/ч) из охлаждаемых брикетов:

$$W_{22} = W_{18} - W_{21} - W_{20}.$$

Погрузка брикетов. Определяем выход (%), зольность (%), подачу товарных брикетов (т/ч) и влаги (т/ч), а также долю влаги в них и общую производительность по брикетам (т/ч):

$$\gamma_{23} = \gamma_{20} - \gamma_{24}; \quad A_{23}^{\#} = A_{22}^{\#};$$

$$Q_{23} = Q_{20} - Q_{24}; \quad W_{23} = W_{20} - W_{24};$$

$$W_{23}^{\%} = \frac{W_{23}}{W_{23} + Q_{23}}; \quad M_{6p} = Q_{23} + W_{23}.$$

Данные о продукте № 24 приводятся в табл. 7.4.

Результаты расчетов технологического процесса брикетирования каменных углей со связующим сводятся в табл. 7.5 и 7.6 практического баланса продуктов брикетирования и баланса по воде.

Таблица 7.5. Практический баланс продуктов брикетирования

Продукт	Выход, %		Зольность, %	Доля влаги, %	Производительность, т/ч
	к углю	к брикетам			
Поступает: Уголь Связующее					
Итого					
Выходят: Брикеты Пыль в атмосферу					
Итого					

Таблица 7.6. Баланс процесса брикетирования по воде

Поступает	Расход влаги, т/ч	Выходит	Расход влаги, т/ч
Влага с углем Пар в малаксер		Влага из сушки Пар после малаксера Влага при охлаждении брикетной смеси Влага при охлаждении брикетов Влага с пылью в атмосферу Влага в брикетах	
Итого		Итого	

7.3.2. Расчет технологической схемы буроугольной брикетной фабрики

Расчет технологической схемы (рис. 7.7) осуществляется по данным ситовых анализов углей, поступающих на фабрику. Обработка ситовых анализов сводится к определению гранулометри-

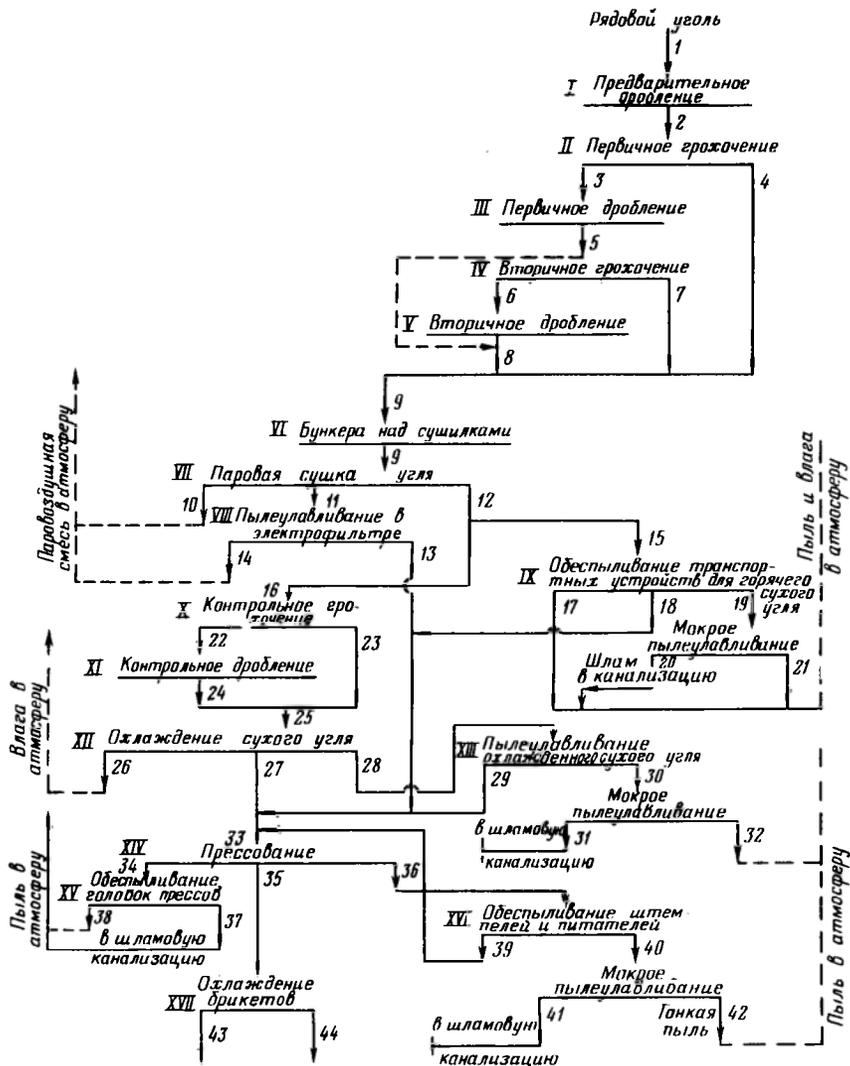


Рис. 7.7. Технологическая схема брикетирования бурого угля

ческого состава смеси до и после предварительного дробления класса более 200 мм аналогично приведенному в разд. 7.3.1.

Перед началом расчета схемы необходимо произвести расчет производительности дробильно-сортировочного отделения согласно данным разд. 3.1.1.

Подготовительные операции. Определяем выход (%), зольность (%), долю влаги (%) и расход угля (т/ч) до и после предварительного дробления класса более 200 мм:

$$\gamma_1 = \gamma_2; A_1^d = A_2^d;$$

$$W_1 = W_2; Q_1 = Q_2.$$

Дальнейшие расчеты сводятся к определению выходов и расхода угля в операциях.

Определяем выход (%) и расход угля (т/ч) в надрешетном 3 и подрешетном 4 продуктах первичного грохочения по контрольному зерну 6 мм:

$$\gamma_3 = \gamma_{+6} + \gamma_{0-6}(1 - \eta_1); Q_3 = Q_1 \frac{\gamma_3}{\gamma_1};$$

$$\gamma_4 = \gamma_{0-6}\eta_1; Q_4 = Q_1 \frac{\gamma_4}{\gamma_1},$$

где γ_{+6} и γ_{0-6} — выходы класса более 6 и 0—6 мм в рядовом угле; η_1 — кпд грохота.

Определяем выход (%) и расход угля (т/ч) при первичном дроблении угля крупнее 6 мм. В практике обычно применяют двухвалковые зубчатые дробилки, которые дают до 30—40% избыточных зерен:

$$\gamma_5 = \gamma_3; Q_5 = Q_3.$$

Определяем выход (%) и расход угля (т/ч) в надрешетном 6 и подрешетном 7 продуктах вторичного грохочения по контрольному зерну 6 мм:

$$\gamma_6 = \gamma'_{+6} + \gamma'_{0-6}(1 - \eta_2); Q_6 = Q_1 \frac{\gamma_6}{\gamma_1},$$

$$\gamma_7 = \gamma'_{0-6}\eta_2; Q_7 = Q_1 \frac{\gamma_7}{\gamma_1};$$

где γ'_{+6} , γ'_{0-6} — выход класса соответственно более 6 и 0—6 мм в продукте первичного дробления, %; η_2 — кпд грохота.

Определяем выход γ_8 (%) и расход угля Q_8 (т/ч) в продукте вторичного дробления. В случае использования молотковых дробилок содержание избыточных зерен не превышает 5%. Следовательно, не требуется операция дальнейшего дробления.

Сушка. Определяем выход угля, идущего в бункера сушилок,

$$\gamma_9 = \gamma_4 + \gamma_7 + \gamma_8.$$

Определяем расход угля, подвергаемого сушке,

$$Q_9 = \frac{20Q_1}{24},$$

где 20 и 24 — время работы в сутки соответственно ДСО и сушильного отделения.

Определяем выход (%) и расход испаряемой влаги (т/ч) в сушилках (влажность высушенного продукта принимаем 18—20%):

$$\gamma'_{10} = \gamma_9 \frac{W'_y - W'_c}{100 - W'_c}; \quad Q'_{10} = Q_9 \frac{\gamma'_{10}}{\gamma_9},$$

где W'_y и W'_c — влажность соответственно исходного и высушенного угля, %.

Определяем выход (%) и расход сухого угля (т/ч) от исходного угля:

$$\gamma'_{12} = \gamma_9 \frac{100 - W'_y}{100 - W'_c}; \quad Q'_{12} = Q_9 \frac{\gamma'_{12}}{\gamma_9}.$$

Унос пыли с паровоздушной смесью в электрофилт্রে составляет 4—8% общего расхода высушенного продукта. Пыль после улавливания дополнительно испаряется и идет на прессование с влажностью $W'_n = 16 \div 18\%$.

Определяем выход (%) пыли без учета дополнительного испарения влаги (т/ч):

$$\gamma'_{11} = \gamma'_{12} \frac{4 \div 8}{100}; \quad Q'_{11} = Q'_{12} \frac{4 \div 8}{100}.$$

Определяем выход (%) и расход влаги (т/ч), удаляемой из пыли,

$$\gamma''_{11} = \gamma'_{11} \frac{W'_c - W'_n}{100 - W'_n}; \quad Q''_{11} = Q'_{11} \frac{W'_c - W'_n}{100 - W'_n}.$$

Определяем выход (%) и расход пыли (т/ч) с учетом дополнительного испарения влаги:

$$\gamma_{11} = \gamma'_{11} - \gamma''_{11}; \quad Q_{11} = Q'_{11} - Q''_{11}; \\ W'_{11} = W'_n.$$

Определяем выход (%) и расход высушенного (т/ч) с учетом уноса пыли:

$$\gamma_{12} = \gamma'_{12} - \gamma''_{11}; \quad Q_{12} = Q'_{12} - Q'_{11}; \\ W'_{12} = W'_c.$$

Определяем общий выход (%) и расход испаряемой влаги (т/ч):

$$\gamma_{10} = \gamma'_{10} + \gamma''_{11}; \quad Q_{10} = Q'_{10} + Q''_{11}.$$

Определяем гранулометрический состав высушенного продукта и заносим данные в таблицу.

Определяем выход (%) и расход улавливаемой пыли (т/ч) в электрофильтрах:

$$\gamma_{13} = \gamma_{11} \eta_3,$$

где η_3 — кпд электрофильтров, равный 0,99—0,995.

$$Q_{13} = Q_{11} \eta_3; \quad W'_{13} = W'_n.$$

Определяем выход (%) и расход унесенной пыли (т/ч) через электрофильтры:

$$\gamma_{14} = \gamma_{11} - \gamma_{13}; \quad Q_{14} = Q_{11} - Q_{13}.$$

Определяем выход (%) и расход пыли (т/ч), поступающей на улавливание при обеспыливании транспортных устройств (по данным практики доля улавливаемой пыли при транспортировке высушенного продукта составляет $2 \div 3\%$):

$$\gamma_{15} = \gamma_{12} \frac{2 \div 3}{100}; \quad Q_{15} = Q_{12} \frac{2 \div 3}{100};$$

$$W'_{15} = W'_c.$$

Определяем выход (%) и расход влаги (т/ч), испаряемой из пыли при обеспыливании в системе транспорта высушенного продукта,

$$\gamma_{17} = \gamma_{15} \frac{W'_{15} - W'_{18}}{100 - W'_{18}}; \quad W'_{18} = W'_n;$$

$$Q_{17} = Q_{15} \frac{W'_{15} - W'_{18}}{100 - W'_{18}}.$$

Определяем выход (%) и расход улавливаемой сухой пыли (т/ч) в системе транспорта высушенного продукта:

$$\gamma_{18} = (\gamma_{15} - \gamma_{17}) \eta_4; \quad Q_{18} = (Q_{15} - Q_{17}) \eta_4,$$

где η_4 — кпд циклона, равный 0,8.

Определяем выход (%) и расход пыли (т/ч), поступающей на мокрое пылеулавливание в системе транспорта высушенного продукта,

$$\gamma_{19} = \gamma_{15} - \gamma_{17} - \gamma_{18}; \quad Q_{19} = Q_{15} - Q_{17} - Q_{18}.$$

Определяем выход (%) и расход твердого (т/ч), удаляемого в шлам при мокром пылеулавливании в системе транспорта высушенного продукта,

$$\gamma_{20} = \gamma_{19} \eta_5; \quad Q_{20} = Q_{19} \eta_5,$$

где η_5 — кпд мокрого пылеулавливания, равный $0,9 \div 0,95$.

Определяем выход (%) и расход пыли (т/ч), выбрасываемой

в атмосферу при мокром пылеулавливании в системе транспорта высушенного продукта,

$$\gamma_{21} = \gamma_{19} - \gamma_{20}; \quad Q_{21} = Q_{19} - Q_{20}.$$

Определяем выход (%) и подачу высушенного продукта (т/ч); поступающего на контрольное грохочение,

$$\gamma_{16} = \gamma_{12} - \gamma_{15}; \quad Q_{16} = Q_{12} - Q_{15};$$

$$W'_{16} = W'_{12} = W'_c.$$

Определяем выход (%) и расход надрешетного 22 и подрешетного 23 продуктов (т/ч) контрольного грохочения:

$$\gamma_{22} = \gamma_{+6} + (1 - \eta_6) \gamma_{0-6}; \quad \gamma_{+6} = \gamma_{16} \frac{\gamma_{+6}^{\text{табл}}}{100};$$

$$\gamma_{0-6} = \gamma_{16} \frac{\gamma_{0-6}^{\text{табл}}}{100}; \quad Q_{22} = Q_{16} \frac{\gamma_{22}}{\gamma_{16}};$$

где η_6 — кпд контрольного грохочения, равный 0,85—0,95; $\gamma_{+6}^{\text{табл}}$ и $\gamma_{0-6}^{\text{табл}}$ — выход соответствующих классов (по таблице granulometric composition высушенного продукта);

$$\gamma_{23} = \gamma_{0-6} \eta_6; \quad Q_{23} = Q_{16} \frac{\gamma_{23}}{\gamma_{16}};$$

$$W'_{23} = W'_c.$$

Определяем выход (%) и расходы (т/ч) испаряемой влаги продукта 26, сухого 27, поступающего на прессование, и удаляемой пыли 28 в процессе охлаждения высушенного продукта и ее транспортировки к прессам:

$$\gamma_{26} = \gamma_{25} \frac{W'_{25} - W'_{27}}{100 - W'_{27}}; \quad Q_{26} = Q_{25} \frac{\gamma_{26}}{\gamma_{25}}.$$

По данным практики доля отсасываемой пыли в процессе охлаждения продукта и его транспортировки к прессам составляет 2—1,5%, следовательно:

$$\gamma_{28} = \gamma_{25} \frac{1 \div 1,5}{100}; \quad Q_{28} = Q_{25} \frac{1 \div 1,5}{100};$$

$$W'_{28} = W'_c; \quad \gamma_{27} = \gamma_{25} - \gamma_{26} - \gamma_{28};$$

$$Q_{27} = Q_{25} - Q_{26} - Q_{28}.$$

По данным практики испарение влаги из высушенного продукта при охлаждении составляет 1,5—2,5%, т. е.

$$W'_{27} = W'_c - (1,5 \div 2,5).$$

Определяем выход (%) и расход (т/ч) пыли, улавливаемой сухим способом 29 и поступающей на мокрое пылеулавливание 30 при транспортировке охлажденного высушенного продукта:

$$\gamma_{29} = \gamma_{28} \eta_7; \quad Q_{29} = Q_{28} \eta_7;$$

$$\gamma_{30} = \gamma_{28} - \gamma_{29}; \quad Q_{30} = Q_{28} - Q_{29}.$$

где η_7 — кпд батарейных циклонов, равный 0,85—0,90.

Определяем выход (%) и расход (т/ч) пыли, уходящей в шлам 31 и удаляемой в атмосферу 32 в процессе мокрого пылеулавливания при транспортировке охлажденного высушенного продукта:

$$\gamma_{31} = \gamma_{30} \eta_8; \quad Q_{31} = Q_{30} \eta_8;$$

$$\gamma_{32} = \gamma_{30} - \gamma_{31}; \quad Q_{32} = Q_{30} - Q_{31},$$

где η_8 — кпд мокрого пылеуловителя, равный 0,90—0,95.

Паровые сушилки характеризуются следующими показателями работы: удельным расходом тепла на 1 кг испаренной влаги; напряжением поверхности нагрева по влаге; удельным расходом пара на 1 кг испаренной влаги.

В трубчатой паровой сушилке передача тепла углю осуществляется:

путем теплопроводности от поверхности стенки трубки к слою угля Q_1 , кДж/ч;

путем излучения от стенки трубки, не покрытой материалом, на поверхность угля Q_2 , кДж/ч;

путем конвективного теплообмена между паровоздушной смесью и наружной поверхностью слоя угля в трубке Q_3 , кДж/ч:

$$Q_1 = F_1 \alpha_n (t_n - v); \quad Q_2 = F_2 \alpha_{луч} (t_n - v);$$

$$Q_3 = F_3 \alpha_k (t_n - v),$$

где F_1 — поверхность соприкосновения угля с трубкой, м²; F_2 — наружная поверхность находящегося в трубке угля, м²; α_n , $\alpha_{луч}$, α_k — коэффициент теплообмена соответственно от горячей поверхности трубки к углю, лучеиспускания и конвекции, кДж/(м² × Ч · град); t_n и t_n — соответственно температура пара и воздуха; v — скорость, с которой уголь поступает в трубку, м/мин; F_3 — оголенная поверхность внутри трубки, м²;

$$F_1 = \pi d l \frac{\varphi}{360}; \quad F_2 = d l \sin \frac{\varphi}{2};$$

$$F_3 = \pi d l \frac{360 - \varphi}{360}; \quad \varphi = 45,5 \sqrt[3]{\psi},$$

где d и l — соответственно диаметр и длина трубки, м; φ — центральный угол сегмента трубки, заполненного углем; ψ — заполнение трубок углем, %;

$$\alpha_n = 1,13 \sqrt{\lambda_y C_y \rho_y} \frac{1}{\sqrt{1/(120n)}};$$

$$\alpha_{луч} = \frac{4,94 \varepsilon_n [(273 + t_n/100)^4 - (273 + n/100)^4]}{t_n - v};$$

$$\alpha_k = 0,37 Re^{0,66}; \quad \varepsilon_n = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{F_2}{F_3} \left(\frac{1}{C_2} + 1 \right)},$$

где λ_y — коэффициент теплопроводности угля; C_y — теплоемкость угля, кДж/(кг·°С); ρ_y — плотность угля, кг/м³; Re — число Рейнольдса, равное для условий сушки угля в трубках 10^3 — 10^5 ; ε_n — безразмерная величина, зависящая от F_2 и F_3 , а также от степени черноты для слоя угля C_1 и поверхности трубки C_2 , равная 0,85—0,9; n — частота вращения барабана, мин⁻¹.

Общее количество тепла (кДж/ч), получаемого материалом в процессе сушки,

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3.$$

Для расчета потерь тепла в окружающую среду q_5 в зависимости от параметров пара можно пользоваться графиками, изображенными на рис. 7.8.

Поверхность (м²) нагрева сушилки

$$H_k = W/A,$$

где W — масса влаги, удаляемой из угля в единицу времени, кг/ч; A — напряжение поверхности нагрева по испаренной влаге, кг/(м²·ч), определяемое по номограмме (рис. 7.9).

Практикой установлено, что расход пара для испарения 1 кг влаги из бурого угля составляет 1,4—1,5 кг. При этом температура высушенного продукта при давлении пара 0,3 МПа и разрежении 40—60 Па в зависимости от его влажности 15, 16, 18 и 20% составит соответственно 89, 87, 85 и 84°С.

Для расчета производительности отделения паровой сушки исходят из определения общей массы испаряемой влаги за 1 ч;

$$W = (1 + 0,01g) \frac{100 - W_2}{100 - W_1} \frac{W_1 - W_c}{100 - W_c} Q_{пр},$$

где W_c — влажность продукта на выходе из сушилки, составляющая $W_2 + 2\%$. Остальные параметры см. формулу (3.22).

Общая поверхность (м²) нагрева, требуемая для сушки угля,

$$H_k^{общ} = 1000W/(24A).$$

Общее число сушилок

$$N = H_k^{общ}/H_{суш},$$

где $H_{суш}$ — поверхность нагрева сушилки, принятой к установке.

Прессование. Определяем выход (%) и расход (т/ч) высушенного продукта и пыли, поступающих на прессы

$$\gamma_{33} = \gamma_{27} + \gamma_{13} + \gamma_{18} + \gamma_{29}.$$

$$Q_{33} = Q_{27} + Q_{13} + Q_{18} + Q_{29}.$$

Определяем выход (%) и расход (т/ч) отсасываемой пыли от головок прессов (по данным практики общая масса этой пыли не превышает 0,25% питания прессов):

$$\gamma_{34} = \gamma_{33} \frac{0,25}{100}; \quad Q_{34} = Q_{33} \frac{0,25}{100}.$$

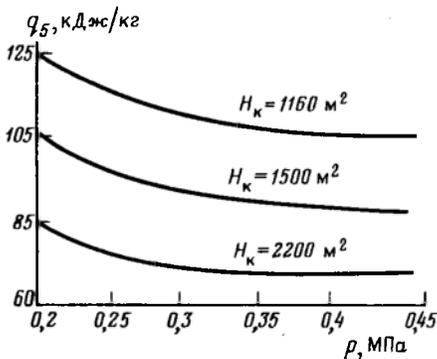
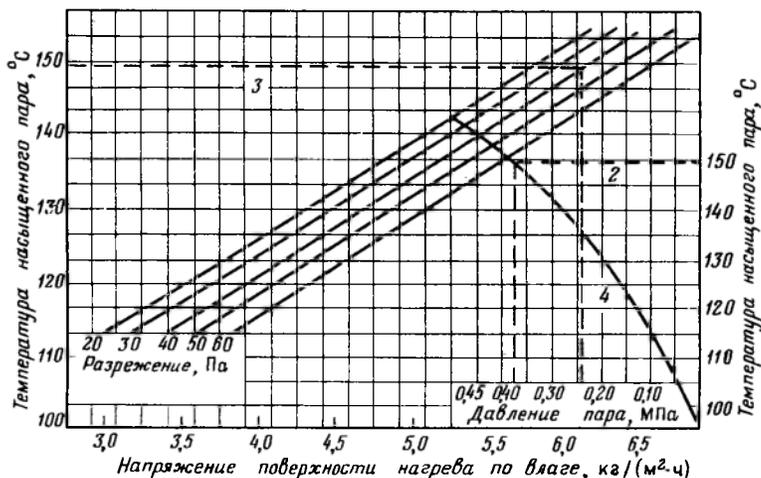


Рис. 7.8. Зависимость потерь тепла в окружающую среду от параметров пара

Рис. 7.9. Зависимость напряжения поверхности нагрева паровой трубчатой сушилки от давления пара и разрежения на выходе из сушилки



Определяем выход (%) и расход (т/ч) пыли, уходящей в шлам 37 и удаляемой в атмосферу 38 от головок прессов:

$$\gamma_{37} = \gamma_{34} \eta_8; \quad Q_{37} = Q_{34} \eta_8;$$

$$\gamma_{38} = \gamma_{34} - \gamma_{37}; \quad Q_{38} = Q_{34} - Q_{37}.$$

Определяем выход (%) и расход (т/ч) отсасываемой пыли от питателей и штемпелей прессов (по данным практики общая масса этой пыли не превышает 0,75% питания прессов):

$$\gamma_{36} = \gamma_{33} \frac{0,75}{100}; \quad Q_{36} = Q_{33} \frac{0,75}{100}.$$

Определяем выход (%) и расход (т/ч) пыли от питателей и штемпелей прессов, возвращаемой после сухого обеспыливания,

$$\gamma_{39} = \gamma_{36} \eta_4; \quad Q_{39} = Q_{36} \eta_4.$$

Определяем выход и расход пыли от питателей и штемпелей прессов, поступающей на мокрое пылеулавливание.

Определяем выход (%) и расход (т/ч) пыли, уходящей в шлам 41 и удаляемой в атмосферу 42 от питателей и штемпелей прессов:

$$\gamma_{41} = \gamma_{40} \eta_{\text{ш}}; \quad Q_{41} = Q_{40} \eta_{\text{ш}};$$

$$\gamma_{42} = \gamma_{40} - \gamma_{41}; \quad Q_{42} = Q_{40} - Q_{41}.$$

Определяем общий выход (%) и производительность (т/ч) по брикетам, выходящим из прессов:

$$\gamma_{35} = \gamma_{33} + \gamma_{39} - \gamma_{34} - \gamma_{36};$$

$$Q_{35} = Q_{33} + Q_{39} - Q_{34} - Q_{36}.$$

Охлаждение брикетов. Определяем выход (%) боя брикетов (по данным практики он не превышает 2%).

$$\gamma_{43} = \gamma_{35} \frac{2}{100}; \quad Q_{43} = Q_{35} \frac{2}{100}.$$

Определяем выход (%) и подачу (т/ч) брикетов, идущих на погрузку,

$$\gamma_{44} = \gamma_{35} - \gamma_{43}; \quad Q_{44} = Q_{35} - Q_{43}.$$

Результаты расчетов технологического процесса брикетирования углей сводятся в табл. 7.7 и 7.8 практического баланса продуктов брикетирования и баланса по воде.

Т а б л и ц а 7.7. Практический баланс продуктов брикетирования

Наименование продукта	Выход, %	Расход, т/ч	Зольность, %	Доля влаги, %
Поступает				
Уголь				
Итого				
Выходит				
Брикеты				
Бой брикетов				
Пыль в атмосферу				
Шлам в канализацию				
Итого				

Т а б л и ц а 7.8. Баланс процесса брикетирования по воде

Поступает	Расход влаги, т/ч	Выходит	Расход влаги, т/ч
Влага с углем		Влага из сушки	
		Влага при охлаждении сушонки	
		Влага при охлаждении брикетов	
		Влага с пылью в атмосферу	
		Влага в брикетах	
Итого		Итого	

Приложение

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ РАБОТА СТУДЕНТОВ ПО БРИКЕТИРОВАНИЮ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Особое место в усвоении курса «Брикетирующие полезные ископаемые» принадлежит научно-исследовательской работе студентов (НИРС). Эта работа охватывает основные разделы технологии брикетирования, среди которых важное место принадлежит экспериментальным исследованиям процессов окискования. НИРС является введением студентов в самостоятельную инженерно-научную деятельность в области брикетирования каменных углей и антрацитов со связующими веществами, брикетирования бурых углей, торфа, рудного сырья и отходов металлургического производства, а также получения бездымного сортавого топлива и продуктов металлургического передела.

Перед началом исследовательской работы студенты знакомятся с наиболее значительными литературными источниками, освещающими вышеназванные проблемы. Изучают правила эксплуатации основного лабораторного оборудования -- аппаратуры для прессования, печей для термообработки и др. Знакомятся с правилами техники и пожарной безопасности. Подготавливают необходимый вспомогательный инструмент, реактивы, материалы, сырье. Изучают методику эксперимента и вносят при необходимости соответствующие изменения. В процессе ведения эксперимента результаты исследований заносятся в специальный, заранее подготовленный журнал. По окончании эксперимента пишется отчет о проведенной научно-исследовательской работе с обоснованием полученных данных, выводами и практическими рекомендациями. Примерная тематика НИРС приведена ниже.

ИССЛЕДОВАНИЕ БРИКЕТИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ КАМЕННЫХ УГЛЕЙ И АНТРАЦИТОВ РАЗЛИЧНОГО МАРОЧНОГО СОСТАВА И КРУПНОСТИ

Целью работы является выявление оптимальных технологических параметров брикетирования углей марки «Д», «Г», «Т» и антрацитов с нефтесвязующими, как-то: крупность угля; расход связующего; температура угля и связующего; температура брикетной шихты; давление прессования; время охлаждения готовых брикетов.

До начала экспериментальных работ студенты знакомятся с литературными источниками, приведенными в конце темы, из которых выясняют физико-химические и структурные характеристики исследуемых углей, антрацитов и нефтесвязующего. Эти сведения необходимы для оценки характера связи между твердой фазой и прослойкой связующего и определения границ изменения исследуемых параметров.

Для выполнения данной работы необходимы следующие материалы, оборудование, инструменты и сырье:

ручной гидравлический пресс;

обогреваемая пресс-форма;

сушильный шкаф для нагрева угля и нефтесвязующего;

аппарат для определения механической прочности брикетов;

термометр со шкалой до 150° С;

обогреваемое приспособление для перемешивания горячего угля (антрацита) и связующего;

технические весы для взвешивания угля и связующего в требуемых композиционных количествах;

механическое сито для отсева угля на классы 0–6 и 0–3 мм;
проба угля (антрацита) крупностью 0–6 и 0–3 мм по 1000 г каждого класса и нефтесвязующее 200 г.

Методика эксперимента. Навеска угля (антрацита) в количестве 30 г (точная масса определяется в зависимости от объема пресс-формы и требуемого размера брикета) высушивается и нагревается до 80–100° С в сушильном шкафу. Там же осуществляют плавление нефтесвязующего (температура 106–110° С). Масса связующего, необходимого для получения брикета, точно определяется в ходе эксперимента (ориентировочно расход нефтесвязующего от 5 до 9%). Нагретые уголь и связующее помещают в обогреваемые приспособления для их перемешивания. После этой операции брикетную смесь охлаждают до температуры, близкой к температуре размягчения нефтесвязующего (последняя определяется методом «Кольцо и Шар»). Охлажденную смесь помещают в пресс-форму, которую устанавливают под гидравлический пресс и, контролируя давление по манометру (давление прессования определяют расчетным путем), осуществляют брикетирование. Давление прессования должно находиться в пределах 10–30 МПа. По достижении заданного усилия прессования движения штока прессы останавливают поворотом регулятора гидравлического режима. Полученный брикет охлаждают до температуры окружающего воздуха, фиксируя при этом время охлаждения. Готовые брикеты испытывают на механическую прочность и термическую устойчивость согласно методикам, приведенным в литературных источниках к данной работе. Плотность унаковки угля в брикете изучают под микроскопом.

Для конкретных углей (антрацитов) и нефтесвязующего студенты самостоятельно разрабатывают на основании вышеуказанных рекомендаций рабочую методику эксперимента. В ней должны быть точно указаны величины всех постоянных параметров, интервал и шаг изменяемого параметра.

В целях наиболее полного выявления факторов, характеризующих брикетирующую способность угля, необходимо исследовать влияние:

верхнего предела крупности угля с определением гранулометрического состава (рекомендуется уголь класса 0–6 и 0–3 мм);
расход связующего от 5 до 9% через 1%;
температурных параметров нагрева угля (от 20 до 100° С через 10° С), связующих (от 50 до 130° С через 10° С) и охлаждения брикетной смеси (от 100 до 50° С через 10° С). Оценка качества брикетов производится по результатам измерения механической прочности, определения термической устойчивости, влагосемкости и плотности унаковки угольных зерен в брикете. Лучшие значения указанных величин являются характеристиками брикетирующей способности угля. Подобные исследования проводятся со всей гаммой марочного состава энергетических углей и антрацитов. Затем делаются выводы и предположения об оптимальном соотношении углей различных марок в брикетной смеси с разработкой технологического режима процесса брикетирования.

Как разновидность НИРС по данной теме может быть работа по подбору теоретического гранулометрического состава с целью получения максимальной плотности унаковки, где в качестве критерия оценки крупности зерен в элементарных классах может быть использовано уравнение Розина – Раммлера.

Полученные экспериментальные данные подлежат детальной обработке с последующим составлением отчета, в котором следует отразить:

цель и способ исследования;
принципиальную схему установки с указанием основных используемых приборов;

описать физико-химическую и гранулометрическую характеристику угля (антрацитов) и специфические особенности связующего;

привести таблицы с технологическими параметрами брикетируемости каждой марки углей;

сделать вывод по материалам исследования с практическими рекомендациями для брикетного производства.

Рекомендуемая литература. 1. Елишевич А. Т. Брикетирование угля со связующими. М., Недра, 1972. 2. Крохин В. Н. Брикетирование углей. М., Недра, 1974, гл. XI. 3. Гун Р. Б. Нефтяные битумы. М., Химия, 1973, гл. I, II, III.

ИССЛЕДОВАНИЕ БРИКЕТИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ БУРЫХ УГЛЕЙ

Целью работы является исследование брикетирующей способности бурых углей в зависимости от следующих факторов: крупности угля; влажности угля; давления прессования; температуры высушенного продукта.

Перед началом работы студенты знакомятся с литературой, список которой приведен в конце данной темы. Из полученных сведений и лекционного материала уясняется направленность экспериментальных работ, обсуждается среди членов группы и согласовывается окончательно с руководителем НИРС.

Для проведения экспериментальных работ необходимы следующие приборы, оборудование и сырье:

ручной гидравлический пресс;

комплекс приспособлений для обжатия брикетной шихты;

емкость для нагрева бурого угля и перемешивания его;

муфельная печь, где будет нагреваться брикетная шихта;

термометр со шкалой 200° С;

технические весы с разновесами;

приспособление для сбрасывания готовых брикетов с целью определения их прочности;

приспособления для определения влагоемкости и термостойкости брикетов.

Методика эксперимента. Бурый уголь массой 20 г, предварительно просеянный на сите с отверстиями диаметром 6 и 3 мм, загружается в емкость (алюминиевую бьюксу), перемешивается в ней и устанавливается в муфельную печь, в которой поддерживается температура около 400° С. Уголь находится в печи 15—20 мин. После этого уголь вынимают из печи, замеряют его температуру и укладывают всю навеску в матрицу — приспособление для обжатия брикетов. Снизу под матрицу укладывают съемное дно, а сверху вставляют шток. Указанный комплекс приспособлений устанавливают на ручном гидравлическом прессе и начинают выталкивать шток до тех пор, пока давление по манометру не достигнет 80—100 МПа. После этого регулятором подачи жидкости в гидравлическую систему пресса давление снижается. Из матрицы извлекается готовый брикет, у которого замеряют температуру. Брикет испытывается на качественные показатели после охлаждения до комнатной температуры. Для испытания механической прочности брикетов на сбрасывание необходимо приготовить не менее семи образцов.

В процессе проведения эксперимента исследуется влияние крупности бурого угля (по двум классам 6—0 и 3—0 мм), содержания влаги от 15 до 40% через каждые 5%, давления прессования 80, 90, 100 МПа и температуры высушенного продукта 200, 150, 100, 80, 40° С.

Эксперименты позволяют найти оптимальные режимы, по которым проводят изготовление основной партии брикетов с испытанием их на сбрасывание, сжатие, влагопоглощение, термическую устойчивость.

Результаты экспериментов тщательно обрабатываются и оформляются в виде отчета, который включает в себя следующие этапы:

описание цели и способа исследования, характеристики используемой аппаратуры с принципиальной схемой установки комплекса приспособлений для обжатия брикетной шихты на ручном гидравлическом прессе;

составление таблиц и графиков полученных данных по качественным параметрам брикетов, характеризующих брикетируемость бурых углей;

анализ исследований по полученным результатам;

выводы и практические рекомендации по технологическим режимам брикетирования бурых углей.

Рекомендуемая литература. Крохин В. Н. Брикетирование углей. М., Недра, 1974.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БРИКЕТОВ

Целью работы является выявление термической устойчивости каменно- и бурогольных брикетов. До начала экспериментальных работ студенты знакомятся с литературными источниками, приведенными в конце темы, из которых уточняют термические особенности углей и связующего. Приобретенные сведения необходимы для оценки термической устойчивости брикетов как в процессе собственно горения, так и при последовательном их нагревании.

Для выполнения данной работы необходимы следующие материалы, оборудование, инструменты и сырье:

муфельная печь с терморегулятором температуры;

аналитические весы;

фарфоровые лодочки, щипцы с удлиненными ручками;

микроскоп для оценки трещиноватости и внешней пористости брикетов.

Методика эксперимента. Определение термической устойчивости брикетов осуществляется в муфельной печи в интервале температур 100—800° С через каждые 100° С. Эксперимент проводится с тремя брикетами, одновременно помещенными в печь. Время пребывания брикетов в печи в течение каждого шага подъема температуры составляет 15 мин. После изъятия брикетов из печи их охлаждают до температуры окружающего воздуха, взвешивают, определяя убыль массы и испытывают на механическую прочность, как это указано в двух предыдущих НИРС.

Результаты экспериментов тщательно обрабатываются и оформляются в виде отчета, который включает в себя следующие этапы:

описание цели и способа исследования, характеристики используемой аппаратуры;

составление таблиц и графиков, полученных данных по качественным параметрам брикетов, подвергшихся термообработке;

анализ исследований по полученным результатам;

выводы и практические рекомендации по технологическим режимам термообработки брикетов.

Рекомендуемая литература. 1. Склад М. Г., Тютюнников Ю. В. Лабораторная практика по химии твердых горючих ископаемых. Харьков, Изд-во ХГУ, 1962.
2. Крохин В. Н. Брикетирование углей. М., Недра, 1984.

ИССЛЕДОВАНИЕ БРИКЕТИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ СМЕСЕЙ

Целью работы является выявление оптимальных технологических параметров железорудных смесей, состоящих из магнетитового концентрата, углеродистого восстановителя и бентонитового связующего. В процессе проведения эксперимента устанавливаются: расход связующего; необходимая добавка воды; крупность углеродистого восстановителя (антрацита); время смещения сухих компонентов смеси и с добавкой воды; давление прессования; время вылеживания готовых брикетов.

До начала экспериментальных работ студенты знакомятся с литературными источниками, приведенными в конце темы. Уясняют физико-химические характеристики брикетируемых компонентов. По этим данным оценивают их способность к окускованию и определяют границы изменения вышеназванных технологических параметров.

Для выполнения данной работы необходимы следующие материалы, оборудование, инструменты и сырье:

ручной гидравлический пресс;

приспособление для смешения компонентов брикетируемой смеси;

пульверизатор для распыления воды;

технические весы и разновесы;

механическое сито с отверстием 6,3 и 1 мм для отсева антрацита;

аппарат для определения механической прочности брикетов;

проба магнетитового концентрата (2000 г), антрацита (500 г) и бентонита (100 г).

Методика эксперимента. Навеска магнетитового концентрата (76—79%), антрацита (18—20%) и бентонита (1—2%), общая масса которой не должна превышать 50—70 г, смешивается с последующим добавлением тонкодиспергированной воды. Расход воды определяется в зависимости от влажности твердых компонентов. Подготовленную брикетную смесь помещают в пресс-форму, устанавливаемую под гидравлический пресс. Контролируя давление прессования в пределах 30—70 МПа, осуществляют брикетирование железнорудной смеси. Полученный брикет испытывают на механическую прочность согласно методикам, приведенным в литературных источниках к данной работе.

Механическую прочность определяют так же после определенного времени вылеживания брикетов. Плотность упаковки компонентов смеси в брикете оценивают под металлографическим микроскопом.

Перед началом эксперимента студенты самостоятельно разрабатывают рабочую методику эксперимента. В ней указываются значения всех постоянных параметров, интервал и шаг измеряемого параметра.

Полученные экспериментальные данные подлежат детальной обработке с последующим составлением отчета, в котором необходимо отразить:

цель и способ исследования;

принципиальную схему установки с указанием основных используемых приборов;

описать характеристику брикетируемых компонентов смеси;

привести таблицы с технологическими данными по брикетированию железнорудной смеси;

сделать выводы по результатам исследований с практическими рекомендациями по оптимизации брикетирования железной руды.

Рекомендуемая литература. 1. Равич Б. М. Брикетирование руд. М., Недра, 1982. 2. Равич Б. М. Брикетирование руд и рудно-топливных шихт. М., Недра, 1968. 3. Менковский И. А., Равич Б. М., Окладников В. Л. Связующие вещества в процессах окускования горных пород. М., Недра, 1977.

СПИСОК ОСНОВНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Елишевич А. Т.* Брикетирование полезных ископаемых. Донецк, изд-во ДПИ, 1985.
2. *Крохин В. Н.* Брикетирование углей. М., Недра, 1984.
3. *Равич Б. М.* Брикетирование руд. М., Недра, 1982.

СПИСОК ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Гл. 1. Сырье и связующие для брикетирования

1. *Святец И. Е., Агроскин А. А.* Бурые угли как технологическое сырье. М., Недра, 1979.
2. *Менковский М. А., Равич Б. М., Окладников В. П.* Связующие вещества в процессах окускования горных пород. М., Недра, 1977.
3. *Ажмосов И. И.* Промышленно-генетическая классификация углей. М., Недра, 1978.

Гл. 2. Физико-химические основы брикетирования

1. *Елишевич А. Т.* Брикетирование углей со связующими. М., Недра, 1972.
2. *Святец И. Е.* Технологическое использование бурых углей. М., Недра, 1985.
3. *Берлин А. А., Басин В. Е.* Основы адгезии полимеров. М., Химия, 1974.
4. *Зимон А. Д.* Адгезия жидкости и смачивание. М., Химия, 1974.
5. *Воюцкий С. С.* Курс коллоидной химии. М., Химия, 1976.

Гл. 3. Технология брикетирования полезных ископаемых

1. *Елишевич А. Т.* Брикетирование углей со связующими. М., Недра, 1972.
2. *Воложин А. П., Рябников С. Е.* Экономия, организация и планирование производства на углеобогатительных и брикетных фабриках. М., Недра, 1984.
3. *Равич Б. М.* Брикетирование руд и рудно-топливных шихт. М., Недра, 1968.
4. *Технология производства торфяных брикетов/А. В. Лазарев, В. Г. Лыкин, Е. С. Демьянов и др. М., Недра, 1984.*
5. *Филиппов В. А.* Техника и технология сушки угля. М., Недра, 1975.

Гл. 4. Оборудование для брикетирования

1. *Филиппов В. А.* Конструкция, расчеты и эксплуатация устройств и оборудования для сушки минерального сырья. М., Недра, 1969.
2. *Елишевич А. Т.* Брикетирование углей со связующими. М., Недра, 1972.
3. *Елишевич А. Т.* Работнику обогатительной фабрики (справочное пособие). Донецк, Донбасс, 1987.
4. *Справочник по обогащению руд. Подготовительные процессы.* М., Недра, 1982.
5. *Справочник по обогащению углей.* М., Недра, 1984.
6. *Справочник по обогащению руд черных металлов.* М., Недра, 1980.

Гл. 5. Технологический контроль брикетного производства

1. *Серго Е. Е.* Опробование и контроль технологических процессов обогащения. Киев, Вища школа, 1979.
2. *Справочник по обогащению руд.* Подготовительные процессы. М., Недра, 1982.
3. *Справочник по обогащению углей.* М., Недра, 1984.

Гл. 6. Безопасность брикетного производства

1. *Правила безопасности на предприятиях по обогащению и брикетированию углей.* М., Недра, 1973.
2. *Коваль Б. А., Губский П. К.* Охрана труда на углеобогатительных фабриках. М., Недра, 1976.
3. *Охрана окружающей среды.* М., Высшая школа, 1983.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Абсолютная влажность 15
Автоклавирувание 31, 165
Автоклавное упрочение 35
Адгезив 18
Адгезия 43, 48, 83
Адсорбция 45
Асфальтены 23
Аутогезия 50
- Баланс продуктов брикетирования 269, 270
Барабанные сушилки 189
— — газовые 89
— — паровые 195
— — охладители 204
Батарейные желоба 225
Бегуны 203
Бездымные брикеты 11
Битумная гипотеза 69
Бокситовый цемент 34
Букель 130
- Валковый грохот 184
— уплотнитель 207
Вальцовый пресс 162, 206, 208
Вибрационный питатель 188
Вихревой смеситель 99
Влагоразность угля 120
Влажность абсолютная 15
Влажность бурого угля 70
— равновесная 15
— связующих 61, 235
Влагоразность угля 120
Восстановимость брикетов 154
Время прессования оптимальное 77
Выработка брикетов часовая 153
Высокомолекулярные соединения (ВМС) 20
- Газопроницаемость брикетов 154
Гипотеза битумная 69
— гидратационно-молекулярная 69
— гуминово-кислотная 69
— капиллярная 66
— коллоидная 65
Гидравлический пресс 229
Гидратационно-молекулярная гипотеза 69
Гипсовые связующие 37
Глины 37
- Гранулометрический состав 57
Групповой химический состав нефтесвязующих 24
— — — каменноугольного пика 24
Граничный (адсорбционный) слой
Гуматы 27
- Давление прессования 56, 62, 74
— прилипания 47
— — расклинивающее 50
Дисковые питатели 188
Дезинтегратор 203
Дозаторы 188
- Жалюзийные охладители 204
- Засоренность торфа 15
Зольность угля 12
- Известь 30, 158
- Каменноугольный пек 24, 25
Каменноугольная смола 25
Капиллярная гипотеза 66
Каустический доломит 36
— магнезит 35
Качающиеся питатели 188
Клеевая пленка 49
Клен 18
Клеящая способность 60
Коалесценция пленок адгезива 11
Когезия 51
Коксование 22
Коксовое число 23, 25
Колосниково-трубчатые грохоты 185
Кольцевой пресс 132, 217
Коллоидная гипотеза 65
Комбинированное брикетирование 141
Компаундирование 26
Комплексная классификация углей и антрацитов 10
Конусные дробилки для мелкого дробления 182
Коэффициент использования прессов 132
— растекания 45
— уплотнения 76, 125
— упругого расширения брикетов 76

Краевой угол смачивания 44
Крыльчатая дробилка 180
Крупность руды 85, 155
— угля 73

Ленточный вакуумный пресс 223
Липкость 47
Лопастные питатели 189
— шнеки-конвейеры 204

Малаксер 98
Марка угля 11
Метаморфизм (углефикация) 10, 12, 14
Метод брикетирования с комбинированными связующими 166
— гидратационного твердения 166
— горячего брикетирования 176
— естественного вылеживания 165
— комбинированный охлаждения брикетов 226
Механическая прочность брикетов 237, 238
Минералогическая проба 233
Модификация связующих 22
Молотковая дробилка 181

Набухаемость 37
Напряжение барабанной сушилки по испаренной влаге 190
Нефтесвязующие 22, 253

Объемный слой 54
Общая проба 233
Окускование 4
Охладители 204
Охладительные желоба 133, 224
— конвейер 205
— лотки 147

ПАВ 46
Пенетрация 20
Пептизация 234
Первичная проба 233
Петрографический микрокомпонент 10
Пасты 41
Пластичность брикетной смеси 62
Пластинчатые питатели 187
Пластическая деформация 63
Пленки критической толщины
Пневмогазовые сушильные установки 142
Пневмопароводяная сушилка 142

Пневмосепарационная сушилка 143
Поверхностное натяжение 43
Подпрессовка 162
Подпрессовщик 207
Подтип углей 11
Показатель пластичности 76
— качества торфяных брикетов 141
— основных методов подготовки брикетной шихты 104
Поликонденсация 24
Полимеризация 24
Портландцемент 24
Предельно допустимые выбросы ПДВ 256
Предельно допустимая концентрация ПДК 256
Прессы непрерывного и периодического действия 160
Проба полезного ископаемого 230
Пробоотборники 234
Производительность вальцового прес-са 105
— валковой зубчатой дробилки 178
— ДСО 87, 120
— конусных дробилок 184
— молотковой дробилки 182
— одноштемельного прессы 132
— прессового отделения 132
— ТБЗ 152
— шаровых и стержневых мельниц 184
— щековых дробилок 256
Прямые битумные эмульсии 41

Равновесное влагосодержание 15
Равновесная влажность 15
Работа адгезии 46
Растяжимость связующего 20, 235
Рампа 227
Расклинивающее давление 50
Растворимое стекло 32, 158
Револьверные (столовые) прессы 160, 222
Релаксация 22
Реологические свойства 21
Реология 21
Ротационный пресс 223
Рудный цемент 35
Рычажный пресс 161, 223

Связующее 18, 253
— подготовка 157
Седиментационный анализ 235
Склад готовых брикетов 136
Склад торфобрикетного завода 147
— — — — — типовой 149
Складирование брикетов 149

Скорость обжарки 103
Сланцевые битумы 27
Слипаемость 240
Смачивание 43
Сместитель паровой (малансер) 98
Смола полукоксования 27
Спекаемость 22
Спекающие свойства 22
Стандартные сорта извести 30
Степень гидравличности извести 32
— набухания глины 236
— однородности брикетов 127
— уплотнения смеси 103
Столовый пресс 221
Структурирование пленки адгезива 50
Структурообразование 50
Субстрат-связующие комплексы (ССК) 54
Сульфит-спиртовая барда (ССБ) 26
— подготовка 157
Суммарные характеристики крупности 58
Сушка торфа 151

Тарельчатая паровая сушилка 198
Тарельчатые охладители 124
Текучесть 20
Температура размягчения 234
Теплота смачивания 43
Термическая прочность брикетов 239
Термобрикетирование 177
Термоокислительная обработка 164
Термостойкость 239
Технико-экономическое обоснование (ТЭО) 259
Технический проект 259
Техническая характеристика барабанной сушилки 25
— вальцового пресса 209
— — концентратов ССБ 26
— — питателя 192
— — перегружателя 228
— — погрузочной машины 228
— — силикат-глыбы 33
— — сушилки в кипящем слое 192
Технические характеристики грохотов ГИЛ и ГИСЛ 187
— — двухвалковых зубчатых дробилок 180
— — качающихся питателей 188
— — кольцевого пресса 217
— — конусных дробилок типа КМД 183
— — лопастных питателей 189
— — мельниц 184
— — мокрых пылеуловителей 194
— — паровых трубчатых барабанных сушилок 195

— — пластинчатых питателей 188
— — тарельчатых сушилок 198
— — центробежных насосов 201
— — шестеренчатых и ротационных насосов 202
— — штемпельных прессов 210
— — щековых дробилок 181
Технологическая оценка сырья 86
Технология брикетирования железных руд 167
— — марганцевых и хромовых руд 170
— — медных руд 173
— — никелевых руд 171
Технологическая оценка сырья 86
— проба 233
Тиксотропия 21
Тип углей 11
Тихоходные конвейеры 135
Топливные торфяные брикеты 141
Точка гигроскопичности 79
Труба-сушилка 89, 191

Удельная сила прилипания 80
Упругие деформации 63
Усадка рудной шихты 160
Усадочные напряжения (усадка) 160
Утилизация брикетной крошки 101

Физико-механические характеристики нефтесвязующих 23
— — каменноугольного лека 23
Формовочный канал 213
Фрезерный торф 14
Фуусы полукоксования 28

Хемосорбция 46
Химическая проба 233

Цементы 34, 158

Шахтно-мельничная сушилка 143
Шлакопортландцемент 34
Штабельные склады 149
Штемпельный пресс 125, 210, 242

Щековые дробилки 180

Чугунная стружка 38

Электрофильтры 194
Эмульсии 40
Энергия адгезионного взаимодействия 82

ОГЛАВЛЕНИЕ

<i>Предисловие</i>	3
<i>Введение</i>	4
Глава 1. Сырье и связующие для брикетирования	9
1.1. Угли, антрациты и торфы	10
1.1.1. Бурые угли	12
1.1.2. Каменные угли и антрациты	13
1.1.3. Торф	14
1.2. Руды и их концентраты	15
1.2.1. Железные руды	15
1.2.2. Марганцевые руды	17
1.2.3. Хромовые руды	17
1.2.4. Руды цветных металлов	17
1.2.5. Руды легких металлов	18
1.3. Связующие вещества	18
1.3.1. Связующие органического происхождения	19
1.3.2. Неорганические связующие	29
1.3.3. Комбинированные связующие	39
Глава 2. Физико-химические основы брикетирования	42
2.1. Теоретические основы процессов брикетирования со связующими	42
2.1.1. Адгезионные взаимодействия	43
2.1.2. Факторы, определяющие прочность адгезионного соединения	48
2.1.3. Аутогезия и когезия в процессах склеивания	50
2.1.4. Гипотеза процесса образования брикетов со связующими	53
2.2. Основные факторы, влияющие на процесс брикетирования со связующими	57
2.3. Теоретические основы брикетирования без связующих	65
2.3.1. Механизм структурообразования бурогольных брикетов	65
2.3.2. Основные факторы, влияющие на процесс брикетирования бурых углей	70
2.3.3. Механизм структурообразования торфяных брикетов	79
2.3.4. Механизм структурообразования рудных брикетов без связующих	82
Глава 3. Технология брикетирования полезных ископаемых	86
3.1. Технология брикетирования каменных углей и антрацитов	86
3.1.1. Подготовка углей	86
3.1.2. Подготовка связующих	92
3.1.3. Приготовление брикетной смеси	98
3.1.4. Прессование	101
3.1.5. Охлаждение и погрузка брикетов	106
3.1.6. Технологические схемы брикетных фабрик	109
3.1.7. Методы специальной обработки брикетов	114
3.2. Технология брикетирования бурых углей	116
3.2.1. Подготовка угля по крупности	117
3.2.2. Сушка угля	120
3.2.3. Охлаждение угля перед прессованием	123
3.2.4. Прессование	125
3.2.5. Охлаждение и погрузка брикетов	133

3.2.6. Буроугольная брикетная фабрика	137
3.2.7. Комбинированные методы брикетирования	140
3.3. Технология брикетирования торфа	141
3.3.1. Требования к торфяным брикетам	141
3.3.2. Подготовка торфа к брикетированию	141
3.3.3. Прессование торфа	144
3.3.4. Охлаждение, складирование и погрузка брикетов	146
3.3.5. Торфобрикетный завод	150
3.3.6. Расчет технологических показателей торфобрикетного завода	152
3.4. Технология брикетирования руд	153
3.4.1. Требования к рудным брикетам	153
3.4.2. Подготовка брикетируемых компонентов	155
3.4.3. Прессование	160
3.4.4. Подготовка брикетов к металлургическому переделу	164
3.4.5. Рудные брикетные фабрики	167
3.4.6. Специальные методы брикетирования руд	176
Глава 4. Оборудование для брикетирования	178
4.1. Оборудование дробильно-сортировочного отделения	178
4.1.1. Дробилки	178
4.1.2. Грохоты	184
4.1.3. Вспомогательное оборудование	187
4.2. Сушильное оборудование	189
4.2.1. Газовые сушилки	189
4.2.2. Паровые сушилки	195
4.3. Оборудование для подготовки и дозировки компонентов брикетной смеси	200
4.4. Прессовое оборудование	204
4.4.1. Оборудование для охлаждения брикетной смеси перед прессованием	204
4.4.2. Прессы для брикетирования	206
4.5. Оборудование охлаждения, погрузки и складирования брикетов	224
4.5.1. Оборудование для охлаждения брикетов	224
4.5.2. Оборудование для погрузки и складирования брикетов	227
Глава 5. Технологический контроль брикетного производства	229
5.1. Опробование и контроль производства	229
5.2. Методы оценки качества сырья и брикетов	234
5.3. Контроль работы сушилок и прессов	240
5.4. Автоматизация и диспетчерский контроль	242
5.4.1. Автоматизация брикетной фабрики	242
5.4.2. Диспетчеризация брикетного производства	244
Глава 6. Безопасность брикетного производства	245
6.1. Безопасность производства на буроугольных брикетных фабриках	246
6.1.1. Пылеулавливание	246
6.1.2. Пожарная безопасность	249
6.1.3. Безопасность работы сушильных отделений	251
6.2. Безопасность производства на брикетных фабриках со связующими	252
6.2.1. Безопасность работы газовых сушилок	252
6.2.2. Безопасность работы со связующими	253
6.3. Охрана окружающей среды	255
6.3.1. Выбросы дымовых газов и пыли	256
6.3.2. Сбросы сточных вод	257
6.3.3. Шумовые, вибрационные и тепловые воздействия	258

Глава 7. Проектирование брикетных фабрик	259
7.1. Общие сведения о проекте	259
7.2. Компонентные решения	261
7.3. Расчет технологических схем	265
7.3.1. Расчет технологической схемы каменноугольной брикетной фабрики ..	268
7.3.2. Расчет технологической схемы буроугольной брикетной фабрики	279
Приложение. Научно-исследовательская работа студентов по брикетированию полезных ископаемых	288
Исследование брикетирующей способности каменных углей и антрацитов различного марочного состава и крупности	288
Исследование брикетирующей способности бурых углей	290
Исследование термических свойств брикетов	291
Исследование брикетирующей способности железорудных смесей	291
Список основной литературы	293
Список дополнительной литературы	293
Предметный указатель	295

Елишевич А. Т.

Е 51 Брикетирование полезных ископаемых: Учеб. для вузов.— М.: Недра, 1989 — 300 с.: ил.

ISBN 5—247—01193—7

Изложены основы брикетирования полезных ископаемых с использованием связующих веществ и без них. Приведены основные характеристики брикетируемых полезных ископаемых и связующих веществ, требования к брикетным продуктам. Описаны технологические схемы брикетирования каменных и бурых углей, антрацитов, различных руд и их концентратов. Рассмотрены особенности опробования, контроля продуктов брикетного производства, а также автоматизация технологического процесса брикетирования, техника безопасности и охрана окружающей среды.

Для студентов горных и горно-металлургических вузов.

Е $\frac{2504000000-362}{043(01)-89}$ 327—89

ББК 33.4

УЧЕБНОЕ ИЗДАНИЕ

Елишевич Аркадий Тихонович

БРИКЕТИРОВАНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Заведующий редакцией *О. И. Паркани*

Редактор издательства *Т. Д. Новикова*

Технические редакторы *В. В. Володарская, Л. Г. Лаврентьева*

Корректор *Е. М. Федорова*

ИБ № 7898

Сдано в набор 31.05.89. Подписано в печать 19.09.89. Т-08792. Формат 60×88¹/₁₆. Бумага офсетная № 2. Гарнитура Литературная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 18,62. Усл. кр.-отг. 18,62. Уч.-изд. л. 20,09. Тираж 2000 экз. Заказ 2335/1987 - 9. Цена 1 руб.

Ордена «Знак Почета» издательство «Недра», 125047, Москва, пл. Белорусского вокзала, 3.

Ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени МПО «Первая Образцовая типография» Государственного комитета СССР по печати. 113054, Москва, Валовая, 28

ВНИМАНИЮ СПЕЦИАЛИСТОВ!

**В 1989 г. издательство «Недра»
выпускает новую книгу**

МОДЕЛИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ ГОРНОРУДНЫМИ ПРЕДПРИЯТИЯМИ

Авторы:

С. Л. КАГРАМАНЯН, А. С. ДАВИДКОВИЧ,

В. А. МАЛЫШЕВ и др.

25 л. Ориентировочная цена 1 р. 60 к.

Представлены **новейшие достижения** в области автоматизации геолого-маркшейдерских расчетов, **моделирования** возможного развития горных работ при перспективном и текущем планировании, **оперативного управления** добычей и переработкой многокомпонентных руд с использованием ситуационных моделей. Рассмотрена **алгоритмическая структура программного обеспечения** для имитационного моделирования системы рудопотоков и вариантов ведения горных работ, разработанная на основе типового подхода к проектированию автоматизированных систем управления горнорудными предприятиями цветной металлургии.

Для инженерно-технических работников горнодобывающих и горноперерабатывающих отраслей промышленности.

В 1991 г. издательство «Недра»
выпускает справочное пособие

ФАЗОВЫЙ АНАЛИЗ РУД ЧЕРНЫХ МЕТАЛЛОВ

Автор М. И. ПОПОВА

10 л. Ориентировочная цена 50 к.

Приведены краткая геолого-минералогическая характеристика руд черных металлов, обзор существующих методов фазового анализа этих руд, а также методики **новых простых** и объективных методов количественного определения минеральных форм марганца (карбонатов, пиролюзита, манганита и др.), хрома и железа (магнетита, гематита, гидроксидов, карбонатных и силикатных минералов); металлических форм железа и марганца, соединений серы и диоксида кремния в рудах и продуктах их переработки. **Приведены результаты** экспериментальных исследований, позволяющих судить о точности рекомендуемых методов.

Для сотрудников аналитических и минералогических лабораторий предприятий и научно-исследовательских институтов, занимающихся переработкой минерального сырья.

Книги можно купить в магазинах книготорга, распространяющих научно-техническую литературу, и в магазинах — опорных пунктах издательства «Недра», адреса которых приводятся в ежегодных аннотированных планах издательства, а также через отделы «Книга — почтой»:

113509, Москва, ул. Красного Маяка, д. 11/1, магазин № 115, или
199178, Ленинград, В.О., Средний Проспект, д. 61, магазин № 17.