

*В. А. Белевитин*

**ЖЕЛЕЗОРУДНАЯ ПОДГОТОВКА  
ПРОИЗВОДСТВА  
КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Учебное пособие

Челябинск

2017

ББК 30.3я73  
УДК 620.1 (021)  
Б 43

Белевитин В.А. Железородная подготовка производства конструкционных материалов: учебное пособие / В.А. Белевитин. – Челябинск: Изд-во «ЦИЦЕРО», 2017. – 61 с.: с ил.

ISBN 978-5-91283-894-1

В учебном пособии представлены наиболее современное состояние понятийного аппарата относительно специальных методов обогащения железосодержащих руд. Приведены данные по схемам обогащения различных полезных ископаемых с использованием специальных методов, технические характеристики применяемого оборудования. Даны основные характеристики комбинированных методов обогащения. Описаны различные способы выщелачивания, разделения фаз, выделения металлов из раствора. Приведены технологические схемы переработки различных полезных ископаемых с использованием данных методов. Учебное пособие будет полезно для студентов, обучающихся по специальности «Профессиональное обучение (автомобили и автомобильное хозяйство)».

**Рецензенты:**

Г.А. Орлов, докт. техн. наук, проф., Уральский  
федеральный университет им. Первого  
президента России Б.Н. Ельцина;  
К.Н. Семендяев, канд. техн. наук, зам. дир-ра ЮУГТК

ISBN 978-5-91283-894-1

© Белевитин В.А., 2017

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	4
<b>Глава 1. ГОРНОРУДНОЕ ПРОИЗВОДСТВО</b> .....	5
1.1. Производственный цикл в черной металлургии...	5
1.2. Железная руда – минеральное образование.....	7
1.3. Рудные тела железной руды .....	12
Контрольные вопросы по главе 1.....	20
<b>Глава 2. ОБОГАЩЕНИЕ И ПЕРЕРАБОТКА РУДЫ</b> .....	21
2.1. Обогащение руды.....	21
2.2. Измельчение руды.....	23
2.3. Методы обогащения.....	29
Контрольные вопросы по главе 2.....	52
<b>БИБЛИОГРАФИЯ</b> .....	54

## ВВЕДЕНИЕ

Человек научился добывать и использовать металлы несколько тысячелетий назад. Из известных элементов Периодической системы Д.И. Менделеева свыше 75% составляют металлы. Особое место по своему значению среди металлов занимает железо – основа черных металлов, представляющих собой сплавы железа с небольшим количеством углерода и других элементов. Производство черных металлов, доля которых составляет около 95% от общего объема производства металлов, в значительной степени определяет уровень технического развития страны.

Черные металлы широко применяют в промышленности, строительстве, сельском хозяйстве, в быту. Такое широкое распространение черных металлов обусловлено двумя обстоятельствами. Во-первых, в земной коре содержатся большие запасы рудного сырья в виде оксидов железа. Железо является одним из наиболее распространенных элементов в земной коре (четвертое место после кислорода, кремния и алюминия). Оксиды железа в природе встречаются в виде больших месторождений. Это позволяет строить крупные горнорудные предприятия, благодаря чему затраты на добычу руды оказываются невысокими. Во-вторых, черные металлы удовлетворяют большинству требований, предъявляемых к конструкционным материалам. На основе черных металлов конструируются композиты – многослойные составные материалы, обладающие рядом уникальных специфических свойств.

# Глава 1

## ГОРНОРУДНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

---

### 1.1. Производственный цикл в черной металлургии

**Металлургия** (от греч. *μεταλλουργέω* – обрабатываю металлы, добываю руду) – область науки, техники и отрасли промышленности, охватывающие процессы получения металлов из руд или других материалов, а также процессы, сообщающие металлическим сплавам путем изменения их химического состава и строения свойства, соответствующие назначению.

К металлургии относятся процессы добычи и обработки руд с целью их подготовки к извлечению металлов, процессы извлечения металлов из руд и других материалов, очистка металлов от нежелательных примесей и другие процессы – литья, обработки металлов давлением.

Исторически сложилось так, что металлургическое производство подразделяют на *черную металлургию* (металлургию железа и его сплавов) и *цветную металлургию* (металлургию всех остальных металлов).

*Черная металлургия* – основа развития большинства отраслей народного хозяйства. Несмотря на бурный рост продукции химической промышленности и цветной металлургии, черные металлы и сплавы на их основе остаются главным конструкционным материалом в машиностроении.

Полный производственный цикл в черной металлургии включает в себя следующие основные этапы:

- добыча руды, ее обогащение и переработка в агломерат или окатыши (рудоуправления и горно-обогажительные комбинаты – ГОКи);

- добыча коксующихся углей и их переработка в кокс;

- производство ферросплавов (как элемента для легирования или раскисления металла);

- производство передельного чугуна;

- выплавка стали;

- производство поковок и проката – листов, полос, труб и другой продукции [1–52].

В черной металлургии в зависимости от *используемого сырья* выделяют:

- доменное производство (сырьем служит обогащенная до агломерата или окатышей железная руда и кокс) передельного чугуна, из которого затем выплавляют сталь;

- бескоксую технологию (технология прямого восстановления), когда в установке металлизации идет прямое восстановление обогащенной железной руды газом (direct reduction iron – DRI) до металлизированного продукта, годного для производства электростали;

- технологию, использующую лом: в настоящее время в черной металлургии мира примерно 2/5 железосодержащего сырья составляет стальной лом.

В первых двух случаях сырьем для выплавки стали служит железная руда. В последние десятилетия в мире преобладает тенденция увеличения доли стали, выплавляемой с использованием технологии прямого восстановления – процесса получения железа и стали непосред-

ственно из рудных материалов, минуя стадию выплавки чугуна в доменных печах.

Крупнейшими производителями черных металлов в России являются Череповецкий (Северсталь), Магнитогорский (ММК), Новолипецкий (НЛМК), Нижнетагильский (НТМК), Западно-Сибирский (Запсиб), Кузнецкий (КМК), Орско-Халиловский (Носта) и Челябинский (Мечел) комбинаты. Все эти предприятия – интегрированные комбинаты, производящие сталь, начиная переработкой железной руды в агломерат или окатыши и производства кокса и заканчивая прокатом, поковками и продукцией более глубоких переделов.

Горнорудное производство включает поиск, разведку, добычу и переработку руд. Добыча руды, ее обогащение и переработка в агломерат или окатыши – первый этап полного производственного цикла в черной металлургии.

## **1.2. Железная руда – минеральное образование**

Из наиболее ценных и важных для современной техники металлов лишь немногие содержатся в земной коре в больших количествах: алюминий (8,8%), железо (4,65%), магний (2,1%). Природные ресурсы некоторых весьма важных металлов измеряются сотыми и даже тысячными долями процента (благородные и редкие металлы). Без добычи руд чёрных металлов не было бы прогресса в развитии цивилизации.

Железная руда представляет собой минеральное образование, включающее железо (Fe), а также его соедине-

ния. Руду считают железной в том случае, если она содержит этот элемент в достаточных объемах для того, чтобы было экономически выгодно его извлекать. Богатыми считаются залежи железной руды с содержанием железа в своем составе более 57%.

Основная часть руд России относится к бедным и средним, содержащим от 16% до 40% металла. К рентабельной обработке пригодно около 72% запасов. Самыми большими запасами железа обладают Россия и Бразилия.

В природе в большинстве случаев, железо встречается в виде:

- магнитной закиси-окиси железа (магнитный железняк или магнетит – рисунок *a* на обратной стороне обложки учебного пособия), состоящий почти из 70% окиси ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) и закиси ( $\text{FeO}$ ) железа.);

- безводной окиси железа  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (красный железняк или гематит – рисунок *б* на обратной стороне обложки учебного пособия);

- водной окиси железа  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  (бурый железняк или гетит – рисунок *в* на обратной стороне обложки учебного пособия);

- соединения углекислого железа  $\text{FeCO}_3$  – рисунок *г* на обратной стороне обложки учебного пособия.

Основной разновидностью железной руды является магнитный железняк (магнетит – рисунок *a* на обратной стороне обложки учебного пособия), состоящий почти из 70% окиси ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) и закиси ( $\text{FeO}$ ) железа. Руду, содержащую в основном магнетит, называют магнитным железняком. Магнетит можно рассматривать как закись-окись же-



леза  $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ . Под действием влаги и кислорода атмосферы закись железа в молекуле  $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$  реагирует с кислородом воздуха, переходя в безводную окись железа  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Образовавшийся минерал по составу является гематитом, но отличается кристаллической решеткой и называется мартитом. Поэтому магнетит в природных условиях всегда окислен. Для характеристики окисленности магнетита принято пользоваться отношением  $\text{Fe}_{\text{общ}}/\text{Fe}_{\text{FeO}}$ . В чистом магнетите это отношение равно 3,0. Обычно к магнитным железнякам относят руды, в которых это отношение меньше 3,5. При отношении равном 3,5 – 7,0, руды относят к полумартитам, а при отношении, большим 7,0 – к мартитам.

Магнитный железняк встречается наиболее часто в виде крепких кусковых руд. Он содержит: 55–60 % Fe, 0,02–2,5 % S, 0,02–0,7 % P и обычно кислую пустую породу ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Магнетит характеризуется высокой магнитной восприимчивостью, и поэтому магнитные железняки обогащают электромагнитным способом.

*Безводная окись железа  $\text{Fe}_2\text{O}_3$*  в рудах представлена минералом гематитом (рисунок б на обратной стороне обложки учебного пособия). Руду, содержащую в основном гематит, называют красным железняком, являющимся продуктом выветривания магнитных железняков или в значительной степени окисленным магнетитом. Руды бывают кусковатые, иногда пылевидные. В плотных породах цвет гематита меняется от стального до стально-черного. Для пылевидных руд характерен красный цвет. Красный

железняк содержит 50–60% Fe, и обычно в таких рудах содержится мало серы и фосфора. Пустая порода таких руд обычно состоит из  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

*Водная окись железа* представлена в рудах обычно минералами лимонитом или гетитом (гетит – рисунок *в* на обратной стороне обложки учебного пособия). Руды, содержащие эти минералы, называются бурьми железняками (общая формула этих минералов  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ). Бурый железняк образуется при окислении железных руд других типов. Он наиболее распространен в земной коре, но используется сравнительно в небольшом количестве, так как трудно поддается обогащению. В добываемых рудах обычно содержится 25–50% Fe и повышенное количество фосфора (0,5–1,5% P). Состав руды, как правило, обычно разнообразен не только в различных, но и в пределах одного месторождения. Бурые железняки, наиболее легко восстанавливаемые руды, благодаря малой плотности и большой пористости. В большинстве случаев руды загрязнены вредными примесями – фосфором, серой, мышьяком. Пустая порода глинистая, иногда кремнисто-глинистая.

*Карбонат железа* представлен в руде минералом сидеритом или углекислым железом  $\text{FeCO}_3$  (рисунок *г* на обратной стороне обложки учебного пособия) и руды, содержащие в основном сидерит, называются шпатовыми железняками. В рудах содержится 30–40% Fe. Часто сидериты содержат серу.

Кроме вышеуказанных соединений железа, в рудах присутствуют различные соединения пустой породы и

примеси, которые в зависимости от вида плавки могут быть полезными и вредными.

*Полезными примесями* являются марганец, никель, хром, ванадий. Марганец улучшает механические свойства чугуна и стали, способствует удалению серы при десульфурации жидкого металла. Никель и хром повышают коррозионную стойкость стали. Благоприятное воздействие на качество стали оказывают ванадий и титан.

*Вредными примесями* являются сера, фосфор, мышьяк, цинк, свинец, медь. Сера придает металлу красноломкость, снижая его механические свойства. Фосфор вызывает в металле хладноломкость, ухудшая свойства металла при низких температурах. Мышьяк понижает свариваемость металла, ухудшает механические свойства. Кроме того, является сильным ядом и присутствие его недопустимо в металлоизделиях, применяемых в пищевой промышленности (емкости для варки пищи, консервные банки). Цинк и свинец не растворяются в чугуне, поэтому не влияют на его качество. Однако цинк при плавке возгоняется и пары его, проникая в швы кладки, приводят к увеличению ее объема и разрушению кожуха печи. Свинец также способствует разрушению футеровки печи. Медь понижает свариваемость металла и придает ему красноломкость. Однако, в некоторых случаях, фосфор и медь могут являться полезными примесями. Например, при выплавке некоторых марок стали. Повышенное содержание фосфора часто задают в низколегированных сталях для улучшения их механической обработки, а также повышения прочности и сопротивления атмосферной коррозии при содержании в

них углерода около 0,1 %. В аустенитных хромоникелевых сталях добавки фосфора способствуют повышению предела текучести. При содержании более 0,20 % медь повышает стойкость к атмосферной коррозии, а также прочностные свойства легированных и низколегированных сталей. Медь в количестве более 1 % повышает стойкость аустенитных нержавеющих сталей к воздействию серной и соляной кислот, а также их стойкость к коррозии под напряжением.

Пустая порода руд в основном состоит из  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$  и  $\text{MgO}$ , которые находятся в виде различных соединений. Диоксид кремния  $\text{SiO}_2$ , кремнезём, обладающие высокой твёрдостью и прочностью бесцветные кристаллы с температурой плавления 1713–1728 °С.  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – оксид алюминия, бинарное соединение алюминия и кислорода, бесцветные нерастворимые в воде кристаллы.  $\text{MgO}$  – Оксид магния (*жжёная магнезия, периклаз*) – химическое соединение, белые кристаллы, нерастворимые в воде.

### 1.3. Рудные тела железной руды

Металлы в рудных месторождениях концентрируются в результате геологических процессов образования горных пород. В зависимости от соотношений величин главных или характерных, выделяют четыре основных типа рудных тел: 1) изометрические или близкие к ним; 2) плитообразные; 3) трубообразные; 4) сложной формы, имеющие неправильные, резко изменяющиеся очертания.

К числу рудных тел первого типа относятся рудные или оруденелые массивы со сплошным или вкрапленным

оруденением. Такие массивы (рис. 1.1, *a*) имеют большие размеры (1 км и более) и часто являются объектами промышленной разработки в очень крупных масштабах.



Рис. 1.1. Рудные тела (залито черным)  
изометрической формы:

*a* – рудный массив; *б* – шток; *в* – гнезда

К более мелким формам первого типа относятся штоки и гнезда (рис. 1.1, *б* и *в*). Штоки – изометрические рудные тела средних размеров, измеряемые первыми сотнями метров. Они характерны для многих полиметаллических, колчеданных, железорудных и других месторождений. Гнезда – небольшие по размерам (от нескольких до десятков метров) изометрические рудные тела, характерные для многих хромитовых, платиновых, ртутных, сурьмяных, пьезокварцевых месторождений.

Среди рудных тел плитовидной формы различают пластообразные тела. К ним относятся: рудные пласты (рис. 1.2, *a*), залегают согласно с вмещающими породами (месторождения осадочных полезных ископаемых – некоторых железных руд, минеральных солей, ископаемых углей, бокситов, золотоносных и ураноносных конгломератов и многих др.); пластообразные залежи (рис. 1.2, *б*), от-

личаются от рудных пластов меньшей выдержанностью по мощности, простиранию и падению, а также прерывистостью (месторождения медистых песчаников, фосфоритов, некоторых свинцово-цинковых месторождений и др.); линзы – сравнительно короткие, быстро выклинивающиеся рудные тела (медно-колчеданные, свинцово-цинковые, апатитовые и другие месторождения); седловидные залежи – согласные, изогнутой формы тела, образующиеся в сводовых частях куполов (рис. 1.2, *б*) и антиклиналей (месторождения сурьмы, ртути, золота и др.).

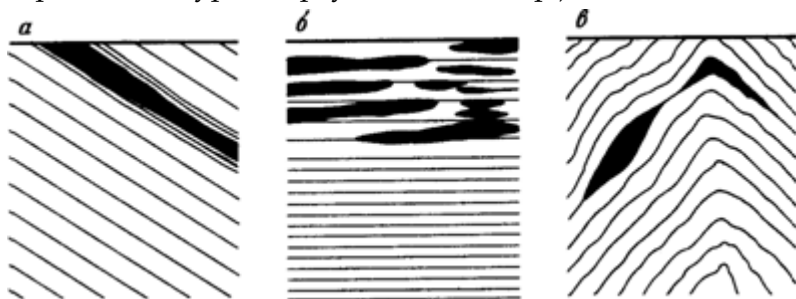


Рис. 1.2. Рудные тела пластообразной формы:  
*а* – рудный пласт; *б* – пластообразные залежи;  
*в* – линза и седловидная залежь

К жиллообразным рудным телам относятся: жилы (рис. 1.3, *а*), которые характеризуются несложной формой без разветвлений и резких изменений мощности и залегания (кварцевые и др.), ветвящиеся или сложные жилы – обычная форма рудных тел многих золото-, медно-, оловорудных, вольфрамовых и других месторождений (рис. 1.3, *б*), прожилковые зоны и штокверки – широко распространенная в природе форма рудных тел многих крупных месторождений меди, свинца, цинка, золота и редких ме-

таллов. В отличие от простых и сложных жил прожилковые зоны характеризуются большим числом мелких жил или прожилок (рис. 1.3, *в*).

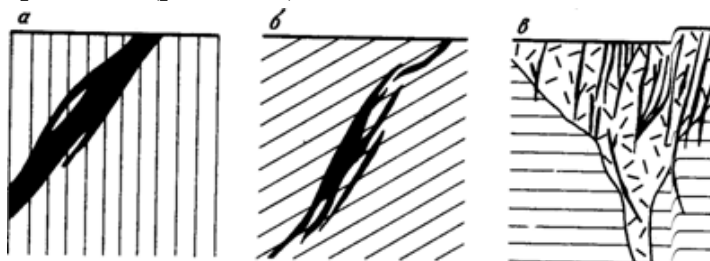


Рис. 1.3. Рудные тела жилообразной формы во вмещающих породах:  
*а* – простая жила; *б* – ветвящаяся жила;  
*в* – прожилковая зона (штокверк)

Трубообразные рудные тела часто контролируются зонами сопряжения и пересечения трещинных структур. Нередко они приурочены к древним вулканическим жерлам, характерны для некоторых свинцово-цинковых, олово-рудных, медных и молибденовых месторождений (рис. 1.4, *а*).

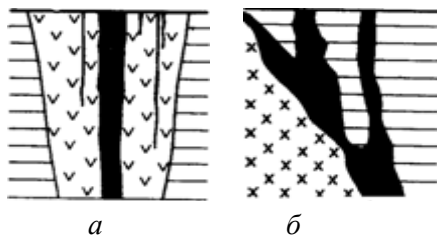


Рис. 1.4. Рудные тела трубообразной формы во вмещающих породах (*а*) и сложной формы (*б*)

Рудные тела сложной, или неправильной, формы часто залегают в карбонатных и других благоприятных

для замещения породах, а также в зонах смятия или других крупных разрывных структурах. Сложные тела замещения в карбонатных породах (рис. 1.4, б) – широко распространенная форма проявления свинцово-цинковых и некоторых медных месторождений.

Параметрами, характеризующими положение плоских тел в пространстве и их размеры, являются: направление (азимут) простирания и длина по простиранию, направление (азимут) падения и протяжённость по падению, угол падения, а также мощность. Для рудных тел, имеющих заметное удлинение в одном направлении, помимо элементов залегания, обычных для плоских тел, необходимо учитывать ориентировку оси рудного тела, то есть линии его удлинения. При разработке рудных месторождений применяют три способа: открытый, подземный и комбинированный. Открытый способ имеет ряд преимуществ: лучшие санитарно-гигиенические условия труда, возможность применения высокопроизводительного горнотранспортного оборудования и, как следствие этого, – возможность достижения высоких технико-экономических показателей. При открытом способе производительность труда рабочих в 4–5 раз выше производительности труда при подземной разработке, а себестоимость добытой руды в 2–3 раза ниже.

Подземный способ применяют при глубоком залегании рудного тела, когда открытая разработка экономически нецелесообразна. Открытые разработки коренных месторождений ведут в карьерах с помощью экскаваторов. Общий вид карьерного способа разработки рудных ме-



сторождений показан на рисунке титульной страницы обложки учебного пособия, а карьера – на рисунке обратной стороне учебного пособия.

Эксплуатация карьера начинается с вскрышных работ, обеспечивающих открытый доступ к рудному массиву. Непосредственная разработка рудного пласта включает буровзрывные работы, экскавацию отбитой руды и ее транспортировку из карьера. Транспортные пути располагаются на уступах карьера и имеют конфигурацию восходящей спирали. На открытых разработках применяют рельсовый и/или автомобильный транспорт. В первом случае используют вагоны с опрокидывающимся кузовом (думпкары) с электровозной тягой, во втором – большегрузные самосвалы.

При разработке месторождения часть руды или полезного компонента остается неизвлеченной. Эти неизвлеченные запасы называются потерями полезного ископаемого в недрах земли. При любом способе выемки потери неизбежны. Потери в пределах 10–12% считаются нормальными для большинства месторождений руд средней ценности.

Разработку глубоко залегающих рудных месторождений производят подземным способом. Небольшие месторождения обычно разрабатывают одной шахтой. Большие месторождения разделяют на отдельные поля, которые разрабатывают самостоятельно. Устройство шахт также может быть различным. Оно зависит от пространственной формы рудного тела, свойств рудной массы и вмещающих пород, рельефа местности и многих других фак-

торов. Принципиальная схема одной из шахт приведена на рис. 1.5. Основными технологическими операциями при подземной разработке месторождений являются:

- а) отбойка руды (отделение ее от рудного тела);
- б) перемещение отбитой руды от забоя до откаточного горизонта;
- в) транспортировка руды на поверхность;
- г) поддержание выработанного пространства.

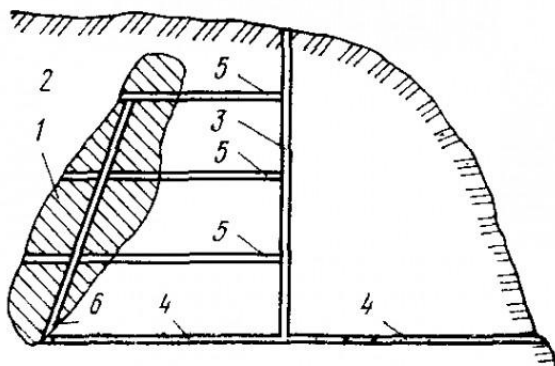


Рис. 1.5. Принципиальная схема устройства шахты:  
1 - рудное тело; 2 - вмещающие породы;  
3 - ствол шахты (вертикальный); 4 - штольня;  
5 - квершлаг; 6 - рудоспуск

Интересен способ комплексной разработки месторождений с размещением добытой открытыми работами горной массы, имеющей кондиционные и некондиционные содержания металла, в выработанном пространстве подземного рудника (рис. 1.6).

Горнорудное дело и металлургическое производство связаны между собой непосредственно. В большинстве случаев ГОКи и металлургические предприятия настолько

тесно связаны, что, по существу, неотделимы друг от друга в производственном отношении и являются единым промышленным комплексом.

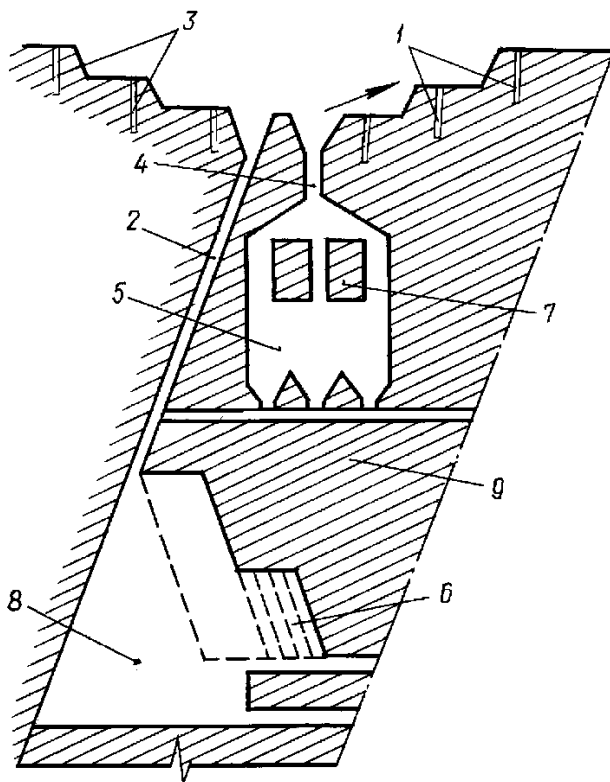


Рис. 1.6. Способ комбинированной разработки рудных месторождений:

- 1 - наклонные скважины; 2 - наклонный породоспуск;
- 3 - встречно-наклонные скважины; 4 - вертикальный рудоспуск; 5 - подземная камера; 6 - наклонные панели;
- 7 - внутрикамерные целики; 8 - выработанное пространство; 9 - нижняя зона подземного этажа

## Контрольные вопросы по главе 1

1. Какие основные этапы включает в себя полный производственный цикл в черной металлургии?
2. Какие процессы относятся металлургии?
3. Что служит сырьем для выплавки стали?
4. Назовите крупнейших производителей черных металлов в России.
5. Чем обусловлено широкое распространение черных металлов?
6. Что включает в себя горнорудное производство?
7. Назовите технологические процессы первого этапа полного производственного цикла в черной металлургии.

## Глава 2

### ОБОГАЩЕНИЕ И ПЕРЕРАБОТКА РУДЫ

---

#### 2.1. Обогащение руды

Обогащение руды – совокупность методов разделения металлов и минералов друг от друга по разнице в их физических и/или химических свойствах. Природное минеральное сырьё, которое представляет собой естественную смесь ценных компонентов и пустой породы, перерабатывается с целью получения концентратов, существенно обогащенных одним или несколькими ценными компонентами. Качество концентрата характеризуется содержанием ценного компонента (оно выше, чем в руде), содержанием полезных и вредных примесей, влажностью и гранулометрической характеристикой.

*Полезными примесями* являются отдельные химические элементы или их природные соединения, которые входят в состав полезного ископаемого в небольших количествах и могут быть выделены и использованы совместно с основным ценным компонентом, улучшая его качество. Так полезными примесями в железных рудах являются хром, вольфрам, ванадий, марганец и др.

*Вредными примесями* являются отдельные элементы и природные химические соединения, содержащиеся в полезных ископаемых и оказывающие отрицательное влияние на качество извлекаемых ценных компонентов. В железных рудах вредными примесями являются сера, мышьяк, фосфор.

Полезные ископаемые на обогатительных фабриках проходят целый ряд последовательных операций, в результате которых полезные компоненты отделяются от примесей. Процессы обогащения полезных ископаемых по своему назначению делятся на подготовительные, вспомогательные и основные.

Обогащение руды – сложный процессом, осуществляемый преимущественно следующими методами:

- механическими (дробление, измельчение руды);
- термическими (обезвоживание, обжиг);
- физико-химическими методами (флотация, сепарирование и другие методы).

Полученные продукты обогащения руды делятся на два и более классов, отличающихся по качеству: более богатый продукт называют концентратом, самый бедный – хвостами, продукты со средним содержанием называют промежуточными, они обычно возвращаются на переработку.

Обогащение руды, как правило, производится на горнообогатительных фабриках и комбинатах.

Предварительное обогащение полезных ископаемых позволяет:

- увеличить промышленные запасы сырья за счет использования месторождений бедных полезных ископаемых с низким содержанием ценных компонентов;
- повысить производительность труда на горных предприятиях и снизить стоимость добываемой руды за счет механизации горных работ и сплошной выемки полезного ископаемого вместо выборочной;

– повысить технико-экономические показатели металлургических предприятий при переработке обогащенного сырья за счет снижения расхода топлива, электроэнергии, флюсов, химических реактивов, улучшения качества готовых продуктов и снижения потерь полезных компонентов с отходами;

– комплексно использовать полезные ископаемые, так как предварительное обогащение позволяет извлечь не только основные полезные компоненты, но и сопутствующие, содержащиеся в малых количествах;

– снизить расходы на транспортирование к потребителям более богатых продуктов, а не всего объема добываемого полезного ископаемого;

– выделить из минерального сырья те вредные примеси, которые при дальнейшей его переработке могут загрязнять окружающую среду и тем самым угрожать здоровью людей и ухудшать качество конечной продукции.

К главным процессам обогащения руды относятся измельчение руды и выделение концентрата.

## **2.2. Измельчение руды**

Измельчение руды заключается в дроблении природного материала, обычно механическими методами, с получением смеси частиц ценных и ненужных компонентов. Дробление может также дополняться химическим разложением молекул компонентов для освобождения полезных атомов. Выделение или концентрация состоит в обособлении полезных частиц одного или нескольких продуктов, называемых концентратами, и исключении

ненужных частиц пустой породы (хвостов, или отходов). Частицы, которые не попали ни в концентрат, ни в отходы, называются промежуточным продуктом и обычно требуют дальнейшей переработки.

*Дробление руды.* К дроблению руды относятся механические процессы, посредством которых добытая в руднике порода в дробилках (рис. 2.1) разбивается до размеров, подходящих для дальнейшего измельчения посредством размалывания. Условно считают, что при дроблении получают продукты преимущественно крупнее 5 мм, а при измельчении – мельче 5 мм.

Дробилки щекового и конусного типов являются основными. Разрушение кусков руды в них происходит в результате раздавливающих, раскалывающих, истирающих усилий и ударов. В щековой дробилке Блэка материал, вводимый в дробилку сверху, раздавливается качающейся 2 и неподвижной 1 щеками, а в конусной дробилке Мак-Кули – неподвижным 12 и вращающимся внутренним 13 конусами. Вал конуса 13 входит во вращающийся эксцентрик 18. В щековой дробилке только один ход подвижной щеки является рабочим, во время обратного хода щеки часть дробленого материала успевает выйти из рабочего пространства дробилки через нижнюю выпускную щель. Вторичное дробление осуществляется в один, два, реже в три этапа.

*Размалывание.* Размалывание представляет собой конечный этап механического отделения полезных минералов от пустой породы. Обычно оно производится в водной среде посредством машин, в которых порода измельчается при помощи чугунных или стальных шаров (рис. 2.2).



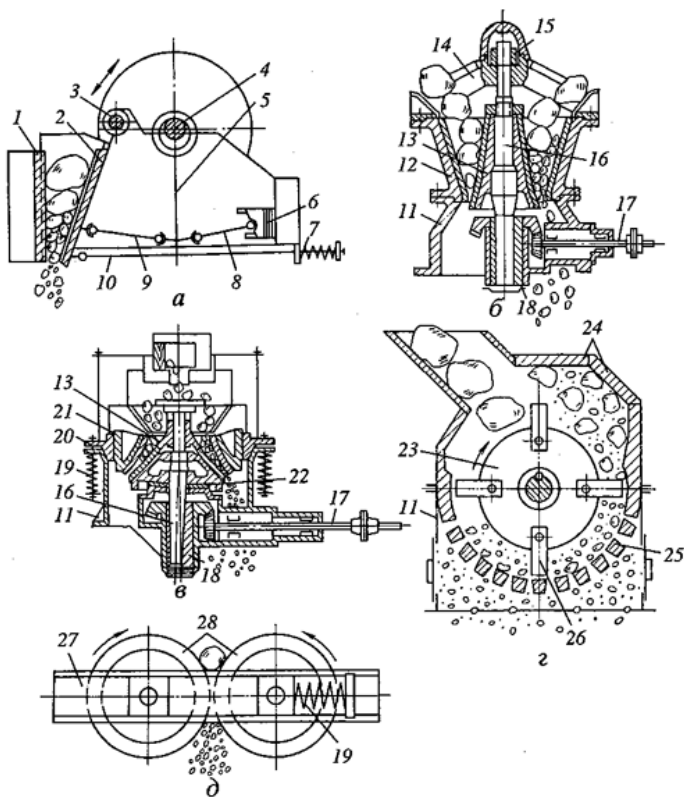


Рис. 2.1. Конструктивные схемы дробилок:

*а* – щековая; *б* – конусная; *в* – грибовидная; *г* – молотковая; *д* – валковая; 1 – неподвижная щека с осью вращения; 2 – подвижная щека; 3, 4 – эксцентриковый вал; 5 – шатун; 6 – шарнирная опора задней распорной щеки; 7 – пружина; 8, 9 – механизм регулировки ширины разгрузочной щели; 10 – тяга замыкающего устройства; 11 – станина; 12 – неподвижный конус; 13 – подвижный конус; 14 – траверса; 15 – шарнир подвески подвижного конуса; 16 – вал конуса; 17 – приводной вал; 18 – эксцентрик; 19 – амортизационная пружина; 20 – опорное кольцо; 21 – регулирующее кольцо; 22 – подпятник конуса; 23 – ротор; 24 – отбойные плиты; 25 – колосниковая решетка; 26 – молоток; 27 – основная рама; 28 – дробящие валки

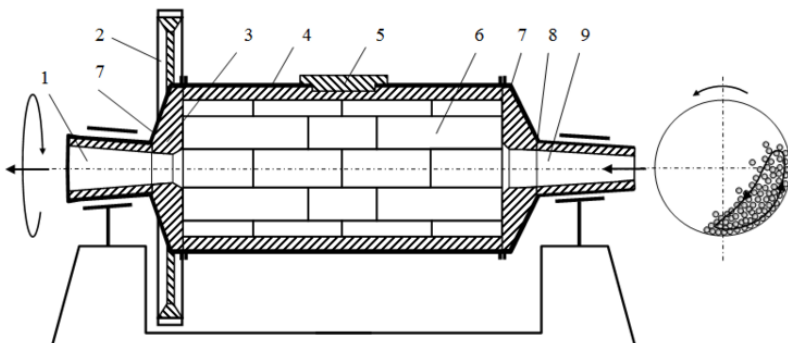


Рис. 2.2. Устройство шаровой мельницы (а)  
и схема движение шаров в барабане (б)

Мельница состоит из барабана (4), крышек (7) с цапфами (3, 8) и зубчатого венца (2). Внутреннюю поверхность футеруют плитами (6). Через горловину (9) руда поступает в мельницу, при вращении мельницы шары, находящиеся внутри, центробежной силой прижимаются к стенкам барабана, поднимаются на некоторую высоту, а затем под действием собственного веса падают, оказывая на материал ударное и истирающее действие, этому способствует также профильная футеровка. Разгрузка осуществляется через горловину (1). Крышка (5) служит для закрытия ремонтного люка. Объем шаров (шаровая нагрузка) мельницы составляет 40–50% объема ее барабана. Барабан современной шаровой мельницы представляет собой сварную конструкцию из листовой стали, внутренняя поверхность которой футерована съемными броневыми листами.

В зависимости от конструкции шаровой барабанной мельницы, скорости вращения барабана, загрузки корпуса мелющими телами, свойств обрабатываемого материала ударное либо истирающее воздействие на обрабатываемый материал становится преобладающим.

В целом по характеру разрушения материалов шаровые барабанные мельницы – это агрегаты измельчения истирающе-ударного действия.

*Грохочение.* Грохочение применяется для приготовления материала определенной размерности, поступающего на концентрирование.

По принципу действия грохоты – устройства для разделения (сортировки) сыпучих материалов по крупности частиц (кусков) на просеивающих поверхностях с калиброванными отверстиями с целью получения продуктов различного гранулометрического состава аналогичны: у различных типов грохотов просеивание происходит при движении материала по просеивающей поверхности. Перемещение материала может осуществляться под действием силы тяжести, струи воды текущей по поверхности или определенного движения короба грохота.

По характеру движения просеивающей поверхности грохоты делятся на неподвижные (колосниковые), плоские качающиеся, вращающиеся (барабанные), полувибрационные, вибрационные.

В промышленности применяются все типы грохотов для разделения зёрен, размер которых превышает 3–5 мм, в том числе механические классификаторы, представляют собой прямоугольные лотки с наклонным дном, которым-

сообщается встряхивающее и возвратно-поступательное движение.

По геометрической форме просеивающей поверхности выделяют грохоты: плоские, барабанные и дуговые; по расположению просеивающей поверхности: наклонные и горизонтальные; по крупности разделяемого материала: крупного, мелкого, тонкого и особо тонкого грохочения.

Эффективность грохочения барабанных грохотов в пределах от 60 до 70%, качающихся – 70–80%, вибрационных – 90–98%. Наиболее перспективны – вибрационные, обладающие максимальной эффективностью, производительностью и надёжностью (рис. 2.3).

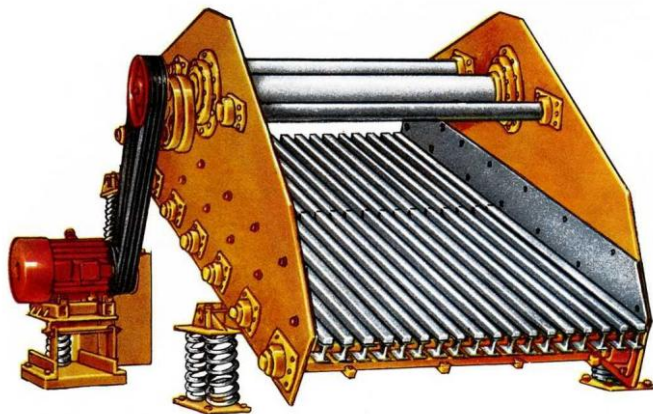


Рис. 2.3. Инерционный грохот для руд чёрных и цветных металлов с самосинхронизирующими вибровозбудителями

Совершенствование грохотов идёт по пути увеличения надёжности работы за счёт применения износостойких материалов просеивающих поверхностей, производительности и эффективности за счёт совершенствования

динамики грохотов и конструкции просеивающей поверхности.

В технологических схемах обогатительных фабрик грохочение является основным способом обогащения, но чаще сочетается с другими способами, магнитным обогащением в частности (рис. 2.4).

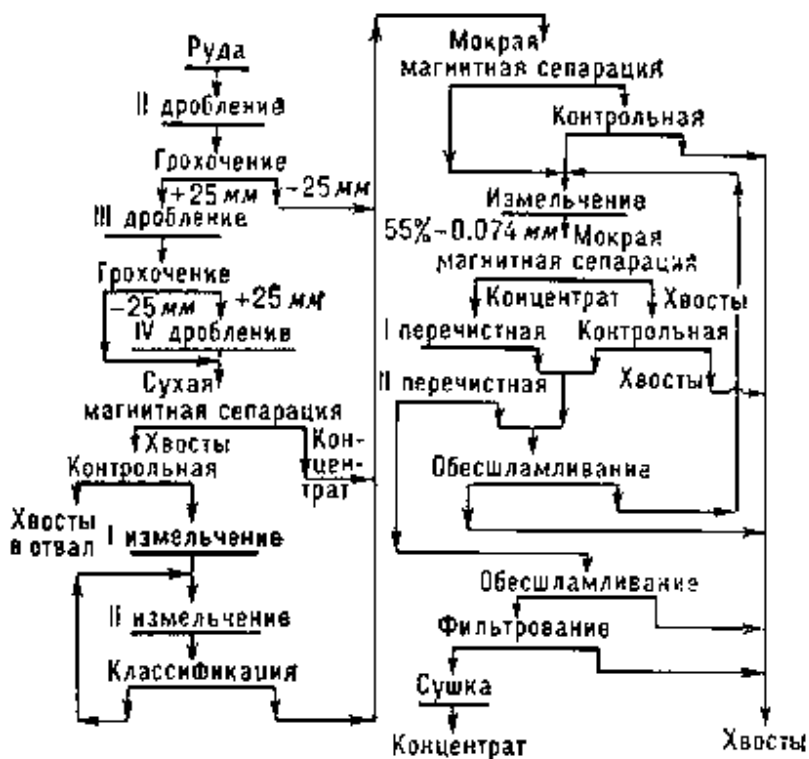


Рис. 2.4. Технологическая схема обогащения

### 2.3. Методы обогащения

*Гравитационные методы обогащения.* Задача основных процессов обогащения – разделить полезный ми-

нерал и пустую породу. В их основе лежат различия в физических и физико-химических свойствах разделяемых минералов. Ведущее место среди других методов обогащения занимают гравитационные методы, основанные на использовании разной плотности различных минералов.

Гравитационные методы обогащения бывают собственно гравитационными (разделение в поле силы тяжести – обычно для относительно крупных частиц) и центробежными (разделение в центробежном поле – для мелких частиц). Если разделение происходит в воздушной среде, то процессы называют пневматическими; в остальных случаях – гидравлическими. Наибольшее распространение в обогащении получили собственно гравитационные процессы, осуществляемые в воде.

Наиболее распространенным методом гравитационного обогащения является отсадка – процесс разделения минеральных частиц по плотности в водной или воздушной среде, пульсирующей относительно разделяемой смеси в вертикальном направлении (рис. 2.5).

Разделение материала при отсадке происходит в результате периодического воздействия восходящего и нисходящего потоков воды (пульсаций) на слой обогащаемого материала (так называемую отсадочную постель 2), находящегося на решетке 3. Под действием пульсаций постель 2 попеременно разрыхляется и уплотняется, при этом частицы различной плотности взаимно перемещаются по её высоте: с малой плотностью – в верхние слои, с большой плотностью – в нижние. Сформировавшиеся слои различной плотности разделяются в виде

концентрата, отходов и, в некоторых случаях, промежуточного продукта.

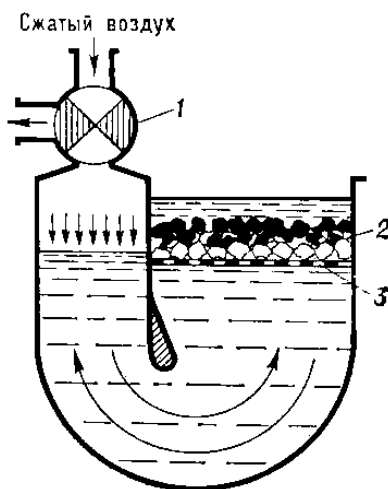


Рис. 2.5. Принцип действия отсадки:

1 – пульсатор; 2 – отсадочная постель; 3 – решетка

Конечные продукты отсадки – концентрат с высоким содержанием полезного компонента и отходы (иногда выделяется промежуточный продукт, состоящий из сростков полезного компонента с пустой породой или из их механической смеси).

Отсадкой обогащаются полезные ископаемые в широком диапазоне крупности и различной плотности. В технологических схемах обогатительных фабрик отсадка является иногда основным способом обогащения, но чаще сочетается с другими способами: обогащением на концентрационных столах и шлюзах, магнитным обогащением, тяжелосредней сепарацией, флотацией и др. Из-за большой удельной производительности, малой энергоёмкости,

простоте применяемого оборудования и сравнительно высокой точности разделения, уступающей по этому показателю только тяжелосредней сепарации, отсадка относится к наиболее экономичным методам обогащения, в особенности при обогащении некоторых руд чёрных металлов с крупным вкраплением полезных компонентов, не требующих тонкого дробления.

**Флотация.** При обогащении руд черных металлов в сочетании с другими методами широко используют флотацию, включающую процессы аэрации и суспензирования пульпы – смеси твёрдых частиц и жидкости, в которой они взвешены, селективной минерализации воздушных пузырьков, создание зоны пенного слоя и разделение пенного и камерного продуктов.

Широкая распространенность флотации объясняется универсальностью процесса, связанной с возможностью разделения практически любых минералов, обогащения бедных руд с весьма тонкой вкрапленностью полезных минералов. Флотация основана на различном закреплении частиц разделяемых минералов на межфазной границе, что определяется различием в поверхностных свойствах минералов, а именно их смачиваемости (гидрофобности). При пенной флотации (рис. 2.6), наиболее применяемой в промышленности, пульпу насыщают газом и частицы некоторых минералов прилипают к пузырькам газа (воздуха) и всплывают на поверхность, образуя минерализованную пену, которая легко удаляется механическим путем. Другие минералы не прилипают и остаются в объеме пульпы.



Флотация обеспечивает получение высокосортных концентратов, этот процесс позволяет разделить практически любые два минерала, которые содержат существенно разные химические элементы или ионные группы.

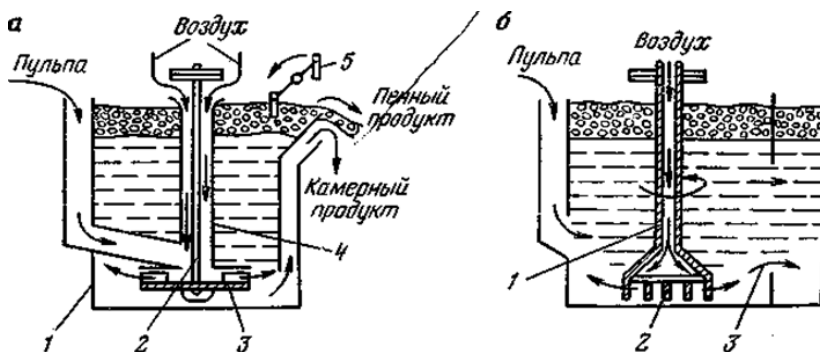


Рис. 1.15. Схемы механической (а) и пневмомеханической (б) флотационных машин

Механическая флотационная машина (рис. 2.6,а) состоит из последовательного ряда камер 1. В центральной части каждой камеры внутри трубы 4 размещен вращающийся вал 2 с импеллером 3. При вращении импеллера проходящая через него пульпа эжектирует (засасывает) атмосферный воздух и выбрасывает его в камеру, заполненную пульпой. Образование воздушных пузырьков и аэрация пульпы происходят в результате турбулизации пульповоздушной смеси, поступающей из импеллера в камеру. Пенный продукт (обычно концентрат) с помощью гребкового устройства 5 направляется на обезвоживание (или перечистку). Камерный продукт самотеком поступает в следующую камеру или выдается в качестве хвостов (из последней камеры машины).

Пневмомеханическая флотационная машина (рис. 2.6, б) отличается от механической тем, что в ней на валу 1 установлена мешалка (аэратор) 2, назначение которой – перемешивать пульпу и подаваемый от воздуходувки под давлением воздух.

Пневматическая (аэрлифтная) флотомашина конструктивно является наиболее простой. Она представляет собой емкость, вытянутую вверх, прямоугольного или круглого сечения, с коническим днищем, внутри которой расположена аэрлифтная труба. В трубу под давлением подается сжатый воздух, который интенсивно перемешивает пульпу и насыщает ее пузырьками. Образующаяся на поверхности пена самотеком разгружается в желоба.

Для регулирования смачиваемости разделяемых минералов (соответственно результатов флотации) применяют различные флотореагенты – собиратели, вспениватели, депрессоры, активаторы и регуляторы среды. Задача собирателей – повысить гидрофобность извлекаемого минерала, а активаторов – усилить действие собирателя на извлекаемый минерал. Назначение вспенивателей – способствовать созданию устойчивой минерализованной пены, депрессоров – повысить гидрофильность неизвлекаемого минерала.

*Магнитные методы обогащения.* При обогащении руд черных металлов широко применяют магнитные методы, основанные на различиях в магнитных свойствах разделяемых минералов – магнитной восприимчивости разных минералов. Железосодержащие минералы (магнетит пирротин и ильменит, а также некоторые другие ми-

нералы железа, поверхности которых могут быть приданы нужные свойства путем низкотемпературного обжига) относятся к сильномагнитным или ферромагнитным и извлекаются на сепараторах со слабым магнитным полем. Обычный магнитный сепаратор представляет собой устройство, в котором слой руды толщиной в несколько зерен перемещается непрерывно в магнитном поле. Магнитные частицы вытягиваются из потока зерен и собираются для дальнейшей переработки; немагнитные частицы остаются в потоке (рис. 2.7).

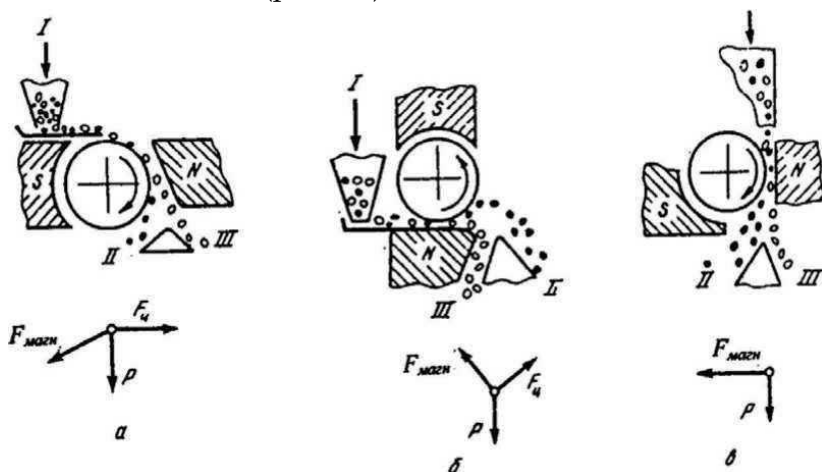


Рис. 2.7. Принцип работы магнитного сепаратора:

*a* – верхняя зона; *б* – нижняя зона; *в* – вертикальная зона;  
*I* – исходное сырье; *II* – магнитный продукт; *III* – немагнитный продукт

**Электрические способы обогащения.** Сущность электрического способа обогащения состоит в том, что на частицы, имеющие различный заряд, в электрическом поле действует разная по значению сила, поэтому они движут-

ся по различным траекториям – неодинаковый электрический заряд частиц ценного компонента и пустой породы в электрическом поле обуславливает разное притяжение, из-за чего происходит их разделение (рис. 2.8).

Электрические сепараторы классифицируют по характеру электрического поля (электростатические и с коронным разрядом), способу электризации (с электризацией контактным способом, в поле коронного разряда, трибоэлектризацией и др.) и по конструкции рабочих органов (барабанные, камерные, ленточные, лотковые, пластинчатые, полочные и др.). На рис. 2.8 показана принципиальная схема барабанного электрического сепаратора для разделения смеси материалов по электропроводности.

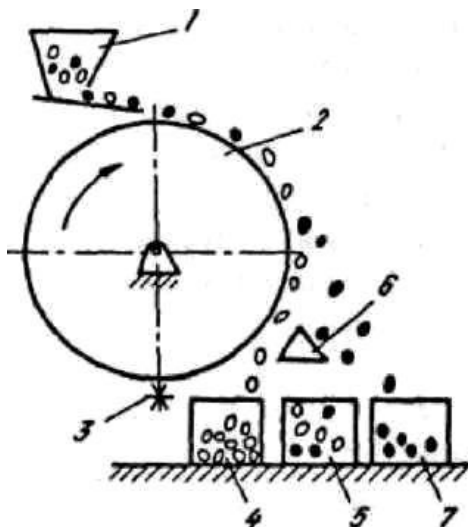


Рис. 2.8. Схема барабанного электрического сепаратора

Исходный материал из бункера 1 подается на заряженный барабан 2. В результате заряда частиц одноимен-

ным зарядом при контакте с барабаном они отталкиваются от него и, двигаясь по криволинейным траекториям, попадают в приемник для электропроводных фракций 7. Неэлектропроводные частицы, заряжаясь медленнее, падают без отклонения или частично удерживаются на барабане и попадают в приемник 4 в результате очистки поверхности барабана щеткой 3. Смесь частиц материалов различной электропроводности концентрируется в среднем приемнике 5. Регулирование качественного состава фракции осуществляется поворотом делительной перегородки 6.

**Комбинированные методы обогащения.** В комбинированных методах наряду с традиционными способами обогащения используются пиро- или гидрометаллургические операции, приводящие к изменению химического состава сырья. Используемые пирометаллургические операции – обжиг, плавка, конвертирование и гидрометаллургические – выщелачивание, осаждение, экстракция, сорбция. Так обжиг применяют для изменения магнитных свойств слабомагнитных минералов железа (карбонатов, оксидов, гидроксидов). При нагревании до 600–800 °С гематит (красный железняк  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) восстанавливается газообразными или твердыми восстановителями (окись углерода, водород, природный газ, уголь и др.) до сильномагнитного магнетита  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Этот процесс иногда называют восстановительным обжигом. Обоженную руду обогащают на магнитных сепараторах со слабым магнитным полем аналогично обогащению природных магнетитовых руд.

**Химические методы обогащения.** Химические методы обогащения включают, в качестве предварительного

этапа, измельчение руды, которое открывает доступ химическим реагентам к ценным компонентам руды, после чего облегчается извлечение этих компонентов. Химические методы могут быть применены как непосредственно к рудам, так и к концентратам, полученным в результате обогащения руд механическими методами. Терминология методов химического обогащения до некоторой степени запутана. Разделение в расплаве относится к процессу плавления, а разделение путем селективных химических реакций – к процессу выщелачивания. Для разделения в расплаве перед плавкой осуществляется переработка руды. Так переработка железной руды перед плавлением осуществляется по следующей технологической схеме (рис. 2.9):

1. Исходная руда с различным размером частиц (от пылевидных до валунов) перед плавлением должна быть переработана. Колосниковый грохот направляет крупные куски в дробилку, а мелкие обломки – на вибрационный грохот. Средние по размеру обломки руды сортируются на пороодоотборном столе, высушиваются и отгружаются на металлургический комбинат. Более мелкая фракция руды подается на лотковый классификатор и встряхивается, после чего более крупные частицы смешиваются со среднеобломочным материалом, а более мелкие поступают в стержневую мельницу. В конусной дробилке крупные куски руды измельчаются и также направляются в стержневую мельницу.

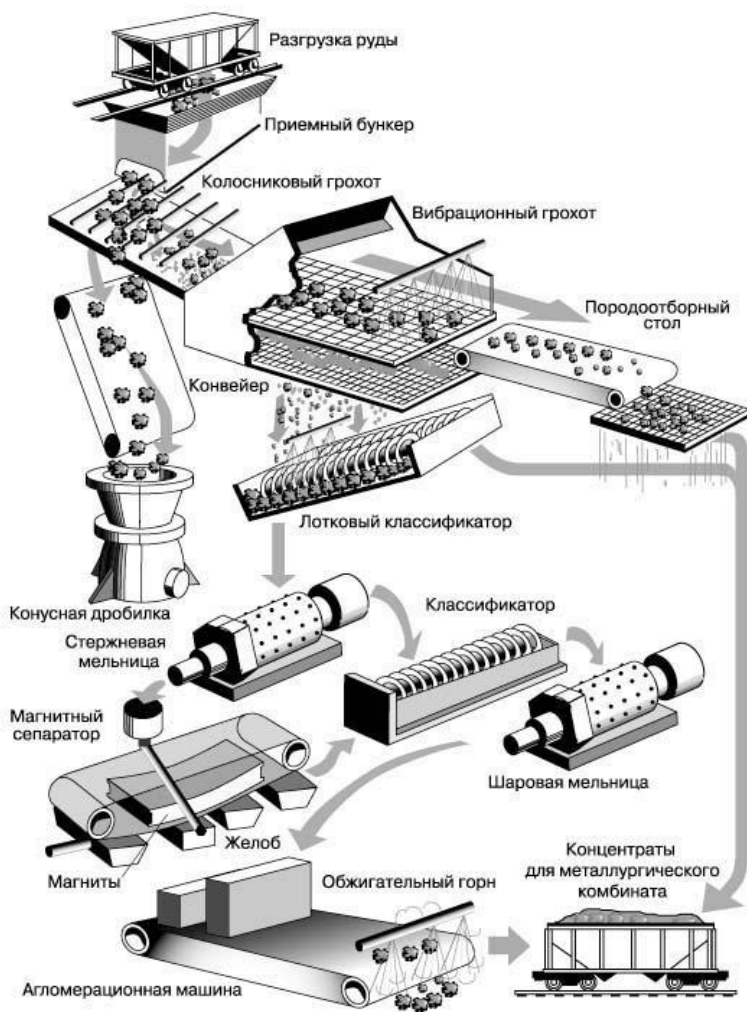


Рис. 2.9. Технологическая схема переработка железной руды перед плавкой

2. В стержневой мельнице тяжелые стальные стержни размалывают руду до размера крупнозернистого гравия.

Тяжелая фракция руды поступает в классификатор, а затем в шаровую мельницу, где окончательно измельчается. Остальная часть направляется в магнитный сепаратор и проходит через лоток под резиновой лентой. Обогащенные железом частицы, вытянутые из лотка магнитом, удерживаются на ленте, пока она не выйдет из магнитного поля, и затем падают на конвейер.

3. Железосодержащий концентрат переносится конвейером в классификатор для разделения на классы по крупности частиц, которые выходят отсюда в виде песчинок и направляются в шаровую мельницу, где стальные или железные шары истирают их до пылевидного состояния. Тонкозернистый концентрат агломерируется в крупные куски, пригодные для плавки в доменных печах. Процесс спекания осуществляется в обжигательном горне при высокой температуре.

*Выщелачивание.* При выщелачивании ценные компоненты руды растворяются и отделяются от нерастворимого остатка посредством подходящего растворителя. В некоторых случаях для перевода ценного компонента в растворимую форму добавляется реагент. Эффективность (скорость и полнота протекания) процесса зависит от размера частиц, свойств реагентов, применяемых для выщелачивания, температуры и метода приведения в соприкосновение руды с растворителем или реагентами. Обычно чем меньше размер частиц, выше температура и концентрация выщелачивающих химических соединений, тем быстрее идет процесс. Методы непосредственного воздействия на руду выщелачивающих растворов – кучное



выщелачивание, выщелачивание при просачивании и выщелачивание при перемешивании – могут применяться как в периодических, так и в непрерывных процессах. В свою очередь непрерывные процессы могут быть реализованы как прямоточные, либо как противоточные.

При *периодическом* выщелачивании (рис. 2.10) пульпу периодически закачивают в параллельно работающие чаны. После перемешивания в течение определенного промежутка времени пульпу выпускают или перекачивают в сборные чаны, а в выщелачивательные чаны закачивают новую порцию пульпы. В чанах-сборниках выщелоченная пульпа накапливается и поддерживается во взвешенном состоянии до поступления в последующую стадию обработки. Можно осуществить все циклы выщелачивания и отмывки в одном чане.

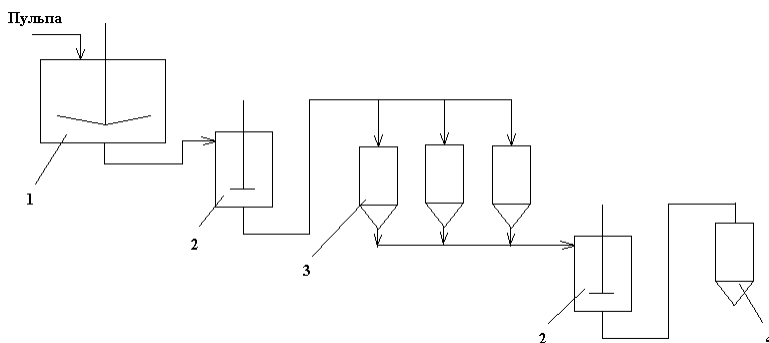


Рис. 2.10. Схема периодического выщелачивания:

1 – сгуститель; 2 – чан-сборник; 3 – чан для перемешивания; 4 – фильтр

При непрерывном выщелачивании (рис. 2.11) пульпа поступает в ряд последовательно соединенных чанов, в

которых подвергается перемешиванию. Если самотек пульпы нельзя обеспечить, для перекачки пульпы применяют насосы. Непрерывно действующая система выщелачивания обычно соединяется с непрерывной системой обезвоживания.

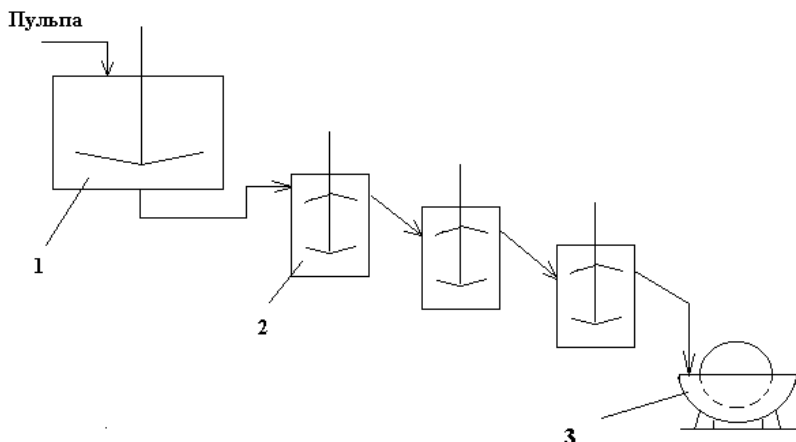


Рис. 2.11. Схема непрерывного выщелачивания:

- 1 – стуститель; 2 – чан для перемешивания;  
3 – фильтр

Непрерывная система выщелачивания имеет следующие преимущества перед периодической системой выщелачивания:

- 1) возможность полной автоматизации процесса;
- 2) меньшее задалживание рабочей силы;
- 3) меньшее сечение трубопроводов, меньшая мощность двигателей и насосов для перекачки пульпы;
- 4) более эффективное использование чанов вследствие отсутствия операций закачки и опоражнения;

5) отсутствие чанов-сборников и затраты энергии на поддержание в них пульпы во взвешенном состоянии.

Выщелачивание – сравнительно медленный процесс, поэтому его интенсифицируют путем механического, ультразвукового и термического активирования твердых веществ, наложением электрических полей, с помощью вибраций и пульсаций.

В прямоточном процессе выщелачивающий раствор движется вместе с рудой и пополняется по мере его истощения. В противоточном процессе выщелачивающий раствор движется навстречу потоку руды. При этом передовой фронт раствора, встречаемый свежей порцией руды, обеднен реагентами и насыщен экстрагированным материалом, а тыловые порции раствора, которые позже встречаются с рудой, представлены свежим выщелачивающим раствором.

Кучное выщелачивание (рис. 2.12) применяется для переработки руд, содержащих легко растворимые полезные компоненты; такие руды должны быть относительно пористыми и недорогими (обычно они добываются в открытых разработках). Иногда кучное выщелачивание используется для переработки отвалов, возникших в результате процессов предшествующей добычи и утилизации руды, когда затраты на добычу уже произведены. Для загрузки руды подготавливается слабонаклонная поверхность, непроницаемая для выщелачивающих растворов. Вдоль и поперек этой поверхности создаются водосборные углубления для дренажа. После загрузки руда заливается большим количеством выщелачивающего раствора, доста-

точным для того, чтобы пропитать всю ее толщу. Раствор проникает между частицами руды и производит растворение полезных компонентов. Через некоторый период времени материал высушивают и извлекают корку, образованную растворившимися ценными составляющими, а обработанную рыхлую породу смывают в дренажную систему.

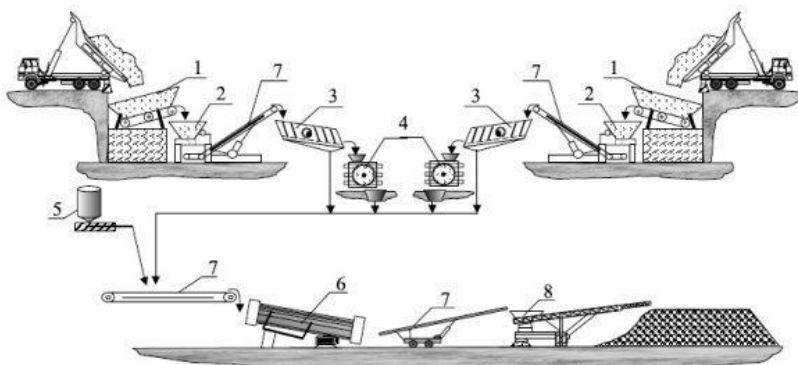


Рис. 2. 12. Технологическая схема рудоподготовки на установке кучного выщелачивания:

- 1 – пластинчатый питатель; 2 – агрегат крупного дробления; 3 – агрегат сортировочный; 4 – роторная дробилка; 5 – бункер-питатель; 6 – барабанный окомкователь; 7 – конвейер; 8 – телескопический стакер

*Выщелачивание путем просачивания* (перколяционное выщелачивание) используется при переработке руд, которые при дроблении измельчаются плохо и не содержат природного шлама или глины. Это довольно медленный процесс. Выщелачивание при просачивании осуществляется главным образом в баках, хорошо приспособленных для загрузки и разгрузки. Дно бака должно быть эффективным фильтром, позволяющим производить че-

рез него закачку и откачку раствора. Баки загружаются раздробленной рудой определенной фракции крупности; иногда в целях более плотной и равномерной загрузки она смачивается. Затем выщелачивающий раствор закачивается в бак и впитывается в руду. По истечении необходимого времени выдержки раствор с выщелоченными компонентами откачивается, а руда промывается для удаления остатков выщелачивающего раствора.

Выщелачивание с перемешиванием, основные схемы которого приведены на рис. 2.13, обычно применяется при переработке высокосортных руд или концентратов с относительно небольшим объемом материала, подлежащего выщелачиванию, а также руд, содержащих тонкую рассеянную вкрапленность полезных компонентов либо измельченных до весьма мелкозернистой фракции.

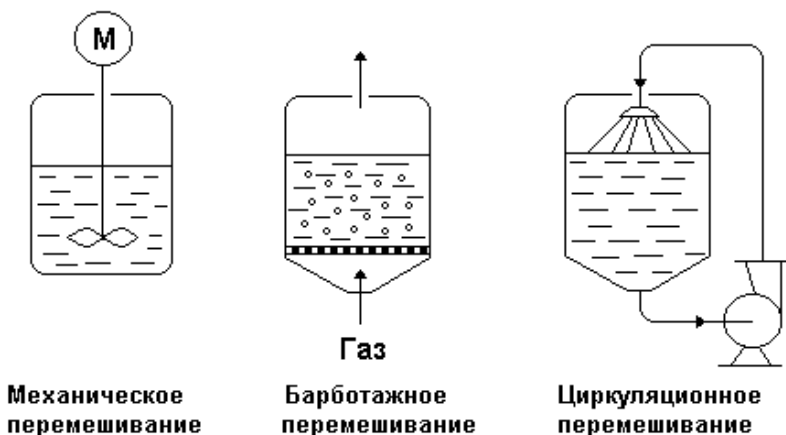


Рис. 2.13. Основные схемы перемешивания

Выщелачивание с перемешиванием позволяет сократить время взаимодействия растворов с рудой до несколь-

ких часов по сравнению с сутками, которые требуются для выщелачивания при просачивании. Выщелачивание с перемешиванием применяется только для материала крупностью менее 0,2 мм. Продолжительность выщелачивания при перемешивании не превышает нескольких часов при высоком извлечении металла в раствор.

Для выщелачивания с перемешиванием применяют два типа аппаратов:

- чаны, работающие без давления, снабженные специальными устройствами для перемешивания пульпы;
- автоклавы, работающие под давлением при повышенных температурах.

Устройства для перемешивания пульпы в чанах могут быть механические (вертикальные или горизонтальные), пневматические и комбинированные (рис. 2.14). Все чаны имеют футеровку от агрессивного воздействия растворов. В последнее время распространение получило также выщелачивание в аппаратах с кипящим слоем.

В чанах с вертикальным перемешивающим устройством (рис. 2.14, *а*) винт поднимает пульпу в средней части, по периферии наблюдаются нисходящие потоки. Происходит активное контактирование частиц с раствором. Чан служит только для выщелачивания. Разделение твёрдой и жидкой фаз, отмывка твёрдой фазы производится в других аппаратах.

Чан с горизонтальным перемешивающим устройством (рис. 2.14, *б*) (шнековый растворитель) состоит из корпуса 1 корытообразной формы, перемешивающего устройства 2 (шнека с одно-, двухзаходной спиралью) и обез-

воживающего элеватора 4 для вывода выщелоченной руды. Шнек 2 выполняет две функции: перемешивает пульпу и транспортирует руду к разгрузке. Длина шнекового растворителя выбирается с учетом времени выщелачивания руды. Выщелачивающий раствор можно подавать как прямоточным, так и противоточным способом.

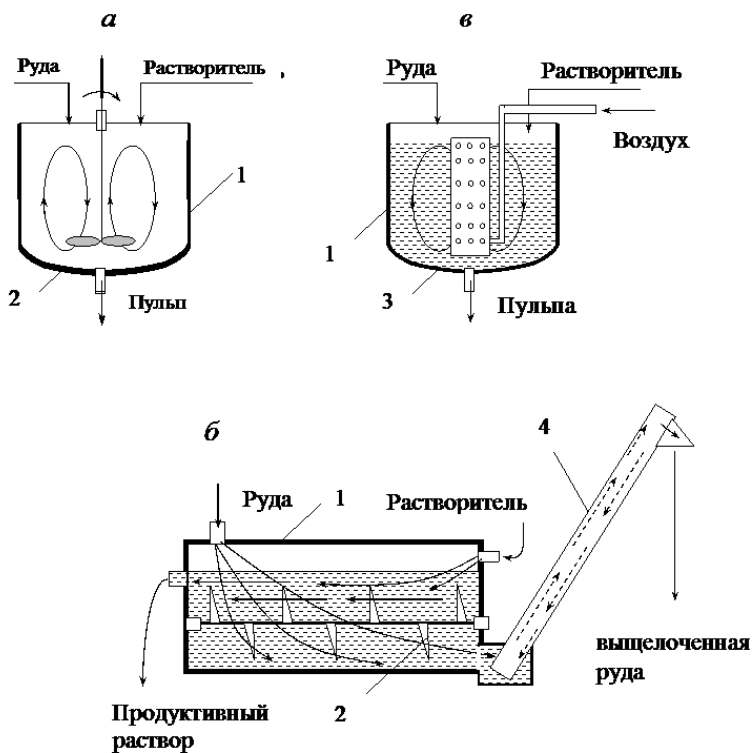


Рис. 2.14. Схема чанов с перемешивающим устройством вертикального (а), горизонтального типа (б), пневматического (в) типов:  
 1 - футерованный корпус; 2 - мешалка (шнек), 3 - перфорированная труба; 4 - обезвоживающий элеватор

Чан с перемешиванием сжатым воздухом (рис. 2.14, б) (пачук) состоит из цилиндрического корпуса 1 диаметром 3–4,5 м и высотой 9–15 м. Внутри чана по его центру расположен циркулятор, диаметр которого в 5–10 раз меньше диаметра пачука. Нижний конец циркулятора должен быть расположен не далее 0,5 м от днища аппарата, верхний конец циркулятора находится немного ниже уровня зеркала пульпы. Оба конца циркулятора должны иметь раструбы с загнутыми концами – это сокращает расход энергии на перемешивание.

При подаче воздуха под давлением 0,2–0,3 МПа в пустотелую трубу 3 пульпа аэрируется и ее плотность уменьшается. Вследствие этого по трубе 3 пульпа движется вверх, а вне ее – вниз. В результате циркуляции происходит интенсивное перемешивание пульпы и выщелачивание компонентов. Регулярная циркуляция предотвращает оседание твердых частиц на днище аппарата.

Воздух не только перемешивает пульпу, но и аэрирует ее, способствуя осуществлению в аппарате окислительных процессов. Для вывода пульпы из аппарата пачуки иногда снабжают дополнительным эрлифтом. При отсутствии эрлифтного подъема для организации самотека пульпы каждый последующий аппарат каскада располагается на 0,1–0,2 м ниже предыдущего. Расход воздуха на перемешивание составляет 1–1,2 м<sup>3</sup>/час на 1 м<sup>3</sup> пульпы.

Расход энергии на перемешивание в пачуках несколько больше, чем в чанах с механическим перемешиванием. Но пачуки предпочтительнее, так как они просты по конструкции, экономичнее в ремонте и обслуживании,



могут применяться для вязких и грубых пульп, обеспечивают высокую производительность и аэрацию пульп.

Чаны с комбинированным перемешиванием имеют или центральный эрлифт и вращающиеся гребки, или периферический эрлифт и центральный импеллер.

Чаны могут работать как в периодическом, так и в непрерывном режимах. В последнем случае пульпу направляют через каскад последовательно соединенных аппаратов, сочетая обычно непрерывное выщелачивание с непрерывно действующей системой обезвоживания отвальных хвостов.

При периодической работе время, необходимое для заполнения аппарата и его разгрузки, является непроизводительным. Для аппарата ёмкостью 10–12 м<sup>3</sup> оно составляет примерно 1 час, а при объеме 40–50 м<sup>3</sup> – 2,5 часа. Непроизводительное время увеличивает суммарный объем аппаратов. Кроме того, при периодическом процессе требуется большой обслуживающий персонал, так как затрудняется механизация и автоматизация процесса. Поэтому предпочитают непрерывное выщелачивание руды в каскадах аппаратов с прямоточным движением выщелачивающих растворов и твердых частиц руды.

Каскад аппаратов непрерывного прямоточного выщелачивания легко автоматизируется. Скорость подачи рудной пульпы контролируется с помощью расходомеров и регулируется связанными с ними исполнительными механизмами. Подача выщелачивающего раствора регулируется по величине рН среды.

При выщелачивании в прямоточном каскаде концентрация выщелачивающих реагентов и движущая сила процесса от аппарата к аппарату уменьшается. В то же время в конце процесса остаются наиболее трудновыщелачиваемые минералы. На выщелачивание последних 5–10% извлекаемых компонентов расходуется половина от суммарного времени процесса. Частицы твердого материала на выходе из каскада содержат в своих порах продукционный раствор извлекаемого компонента, поэтому для полного извлечения полезного компонента необходима тщательная промывка твердого остатка после разделения фаз.

На рис. 2.15 изображены прямоточные каскады из трех агитаторов. В головной пачук каскада подается исходная рудная пульпа и выщелачивающий реагент, окислитель подается в середину каскада, чтобы не расходовать его на окисление водорода и сероводорода, в хвостовой аппарат каскада могут подаваться флокулянты, способствующие укрупнению агрегатов твердых частиц, что улучшает последующие процессы осаждения и фильтрации.

Увеличение средней движущей силы процесса и улучшения отмывки твердой фазы достигается при организации противоточного движения фаз в каскаде. При этом режиме исходный растворитель (выше концентрация и сильнее вскрывающая способность) подается в последний аппарат каскада. Получаемый после обезвоживания кек считают отвальным для данного процесса, а раствор возвращают на первую стадию, т.е. обрабатываемое сырье и растворитель перемещают по встречным маршрутам.

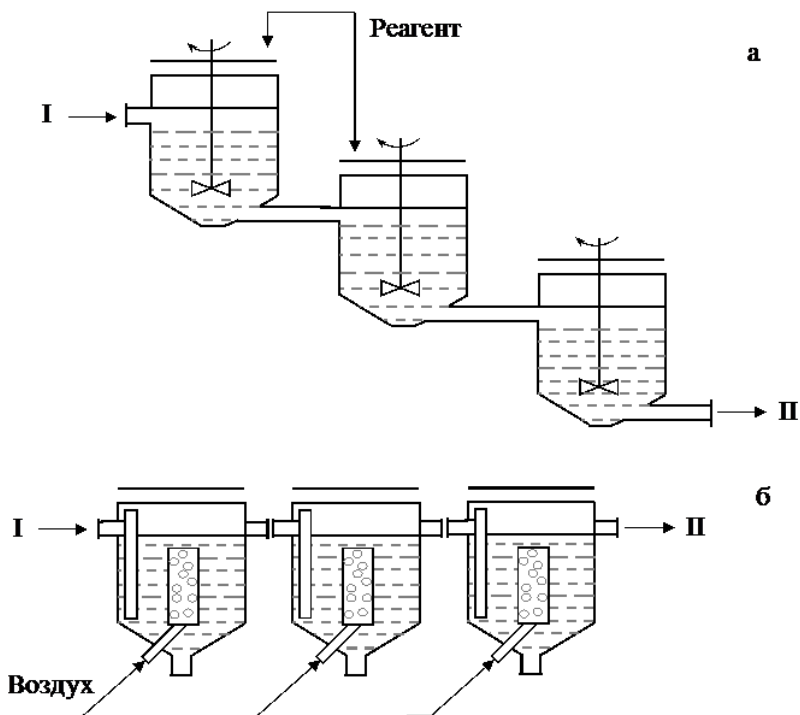


Рис. 2.15. Каскады выщелачивания:

- а) – из трех аппаратов с механическим перемешиванием;
- б) – из трех пачуков; I – подача пульпы, II – пульпа на разделение фаз

Вышеописанная схема наиболее рациональная, при которой уменьшается время выщелачивания и расход реагентов. Однако при этом неизбежно накопление сопутствующих примесей в обратном растворе, что ухудшает показатели выщелачивания и сортность извлекаемого металла. Для поддержания оптимального состава раствора часть его выводят на отдельную переработку (глубокое выпаривание, нейтрализация, сорбционно-экстракцион-

ная очистка и др.). Кроме того, для осуществления такого процесса необходимо после каждого аппарата разделять твердую и жидкую фазу. Затраты на операции разделения фаз и их трудоемкость часто сводит на нет все преимущества противоточного каскада выщелачивания.

## **Контрольные вопросы к главе 2**

1. Какие основные этапы включает в себя полный производственный цикл горнорудного производства?
2. Что представляет собой железная руда?
3. В каком случае руду считают железной?
4. Назовите основную разновидность железной руды.
5. Назовите способы добычи железной руды.
6. Назовите и охарактеризуйте основные типы рудных тел.
7. Назовите и охарактеризуйте способы разработки рудных месторождений.
8. Назовите основные технологические операции при подземной разработке рудных месторождений.
9. В чем заключается способ комплексной разработки рудных месторождений?
10. В чем заключается сущность обогащения и переработки руды?
11. Назовите продукты обогащения и переработки руды.
12. Для чего используют предварительное обогащение полезных ископаемых?
13. Назовите и охарактеризуйте главные процессы обогащения руды.
14. В чем заключается измельчение и выделение концентрата природного материала – руды?

15. Назовите и охарактеризуйте конструктивные схемы дробилок.
16. Что представляет собой процесс размалывания?
17. Назовите и охарактеризуйте конструктивные схемы процесса размалывания.
18. Что представляет собой процесс грохочения и для чего он применяется?
19. В чем сущность гравитационных методов обогащения руд?
20. Что включает в себя процесс флотации, его назначение?
21. Назовите и охарактеризуйте типы агрегатов флотации.
22. В чем сущность магнитных методы обогащения руд?
23. В чем сущность электрических способов обогащения руд?
24. Назовите и охарактеризуйте комбинированные методы обогащения руд.
25. В чем сущность химических способов обогащения руд?
26. Охарактеризуйте технологическую схему переработки железной руды перед плавкой.
27. В чем сущность выщелачивания ценных компонентов руды?
28. Назовите и охарактеризуйте типы выщелачивания ценных компонентов руды.
29. В чем заключаются преимущества непрерывного выщелачивания ценных компонентов руды?
30. Охарактеризуйте технологическую схему рудоподготовки на установке кучного выщелачивания.

## БИБЛИОГРАФИЯ

1. ON THE PROBLEM OF THE THREE-DIMENSIONAL FLOW OF METAL UPON OPEN FORGING / V.A. Belevitin, V.F. Obesnyuk, E.R. Logunova // Russian metallurgy (Metally). 2003. – № 1. – С. 21–25.
2. О ВЫБОРЕ ОПТИМАЛЬНОГО СООТНОШЕНИЯ ДИАМЕТРОВ ВАЛКОВ И ЗАГОТОВКИ ДЛЯ ВИНТОВОЙ ПРОКАТКИ / Р.М. Голубчик, В.К. Воронцов, В.А. Белевитин // Сталь. 1982. – № 8. – С. 64–66.
3. К ПОСТАНОВКЕ И РЕШЕНИЮ ОБЪЕМНОЙ ЗАДАЧИ ПЛАСТИЧЕСКОГО ТЕЧЕНИЯ МЕТОДАМИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ МЕХАНИКИ / В.К. Воронцов, П.И. Полухин, В.А. Белевитин, В.В. Бринза // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 1976. – № 4. – С. 75–80.
4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКОЙ КАДРОВ В УСЛОВИЯХ ЭЛЕКТРОННОГО ОБУЧЕНИЯ / С.А. Богатенков, Е.А. Гнатышина, В.А. Белевитин. – Челябинск, Изд-во: Южно-Урал. гос. гуман.-пед. ун-та, 2017. – 155 с.
5. Белевитин, В.А. НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ РАБОТА МАГИСТРАНТА: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ОРГАНИЗАЦИИ И ПРОВЕДЕНИЯ: учеб.-метод. пособие / В.А. Белевитин, Е.А. Гнатышина, И.Г. Черновол. Челябинск, Изд-во: Южно-Урал. гос. гуман.-пед. ун-та, 2017. – 122 с.
6. МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ: РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ И ЗАЩИТЕ: учеб.-методич. пособие / В.А. Белевитин, Е.А. Гнатышина, И.Г. Черновол. Челябинск, Изд-во: Южно-Урал. гос. гуман.-пед. ун-та, 2016. – 158 с.
7. ПРОФЕССИОНАЛЬНО-ПЕДАГОГИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ НА РУБЕЖЕ ВЕКОВ: колл. монография / Е.А. Гнатышина,

- Г.А. Герцог, А.В. Савченков, Л.П. Алексеева, Н.В. Уварина, Е.В. Гнатышина, Н.Ю. Корнеева, В.А. Белевитин. Челябинск, Изд-во: Южно-Урал. гос. пед. ун-та, 2014. – 304 с.
8. Белевитин, В.А. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ. СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ: учеб. пособие / В.А. Белевитин / Челябинск, Изд-во: Южно-Урал. гос. пед. ун-та, 2012. – 236 с.
9. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ПЛАСТИЧЕСКОГО ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ СОРТОВЫХ ЗАГОТОВОК / А.А. Минаев, В.А. Белевитин, Е.Н. Смирнов // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 1990. – № 12. – С. 26–28.
10. БЕСКОНТАКТНЫЙ ОДНОКАНАЛЬНЫЙ ВРЕЯИМ-ПУЛЬСНЫЙ РАСХОДОМЕР ЖИДКОСТИ / А.И. Бражников, В.А. Белевитин, Е.В. Бражникова, Е.Л. Иванов // Метрология. 2004. – № 11. – С. 16.
11. УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА КОВАННЫХ ВАЛОВ / В.А. Белевитин, Н.И. Бражников // Сталь. 2000. – № 4. – С. 47–48.
12. ПРОМЫШЛЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ МЕЛЮЩИХ ШАРОВ ПОВЫШЕННОЙ ТВЕРДОСТИ ПРИ ИЗМЕЛЬЧЕНИИ ЖЕЛЕЗИСТЫХ КВАРЦИТОВ / А.И. Серов, Е.Н. Смирнов, В.А. Скляр, В.А. Белевитин // Обогащение руд. 2017. – № 3 (369). – С. 15–20.
13. СКВОЗНАЯ ОЦЕНКА МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛУПРОДУКТА И ПРЕССОВАННЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ ПРОФИЛЕЙ В УСЛОВИЯХ ТИПОВОГО РЕГИОНАЛЬНОГО ПРОИЗВОДИТЕЛЯ ООО «АЛТЕК» / Е.Н. Смирнов, В.А. Скляр, М.В. Митрофанов, О.Е. Смирнов, В.А. Белевитин, А.Н. Смирнов // Металлург. 2017. – № 10. – С. 49–53.
14. Смирнов, Е.Н. Развитие подходов к исследованию на физических моделях механизмов «залечивания» дефектов

- сплошности осевой зоны непрерывно-литой заготовки / Е.Н. Смирнов, В.А. Склиар, В.А. Белевитин, Р.А. Шмыгля, О.Е. Смирнов // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия, 2016. – Т. 59. – № 5. – С. 322–327.
15. Smyrnov, Y.N. Physical and Computer modeling of new soft reduction Process of continuously cast blooms / Y.N. Smyrnov, V.A. Belevitin и др. // Journal of Chemical Tecnology and Metallurgy, 2015. – 50. – № 6. – P. 12–17.
16. AN ULTRASOUND METHOD FOR CONTROLLING THE QUALITY OF SHAPED FORGINGS / I.P. Belevitina, N.I. Brazhnikov, V.A. Belevitin // Metallurgist. 1996. – Т. 39. – № 10. – С. 198.
19. DEFECT HEALING IN THE AXIAL ZONE OF CONTINUOUS-CAST BILLET / Y.N. Smyrnov, V.A. Skliar, V.A. Belevitin, R.A. Shmyglya, O.Y. Smyrnov // Steel in Translation. 2016. – Т. 46. – № 5. – С. 325–328.
20. PHYSICAL AND COMPUTER MODELING OF NEW SOFT REDUCTION PROCESS OF CONTINUOUSLY CAST BLOOMS / Y.N. Smyrnov, V.A. Belevitin, V.A. Skliar и др. // Journal of Chemical Technology and Metallurgy. 2015. – Т50. – №6. – С. 12.
21. Belevitin, V.A. SIMULATION OF THE MACROSTRUCTURE INFLUENCE OF FORGING INGOTS ON THE POTENTIAL CAPABILITIES OF OBTAINING HIGH-QUALITY FORGINGS / V.A. Belevitin, Y.N. Smyrnov, S.Y. Kovalenko, A.V. Suvorov // Metallurgical and Mining Industry. 2016. – № 7. – С. 18–23.
22. CHEMICAL COMPOSITION OF THE CONDITIONED AND NONCONDITIONED NIGNEUVELYSKAYAS CLAY CHELYABINSK REGION / A.A. Sherbakov, M.S. Klepikov, N.F. Solodkii, A.S. Serikov, V.V. Rukavishnikov, V.M.



Zhestkov, Belevitin V.A. // Башкирский химический журнал. 2011. – Т. 18. – № 4. – С. 236–239.

23. Белевитин, В.А. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ. СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ: учеб. пособие / В.А. Белевитин. Челябинск, Челяб. гос. пед. ун-т. 2012.

24. Белевитин, В.А. ОПЕРАЦИОННО-ЗАЧЕТНЫЕ РАБОТЫ ПО ОБЩЕСЛЕСАРНОЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПРАКТИКЕ: сб-к лаб. работ / В.А. Белевитин, А.В. Суворов, Е.П. Меркулов. Челябинск, Челяб. гос. пед. ун-т. 2015.

26. Воронцов, В.К. К ПОСТАНОВКЕ И РЕШЕНИЮ ОБЪЕМНОЙ ЗАДАЧИ ПЛАСТИЧЕСКОГО ТЕЧЕНИЯ МЕТОДАМИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ МЕХАНИКИ / В.К. Воронцов, П.И. Полухин, В.А. Белевитин, В.В. Бринза // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 1976. – № 4. – С. 75–80.

27. УЛЬТРАЗВУКОВОЙ СПЕКТРАЛЬНЫЙ МЕТОД ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ЭЛЕКТРОЛИТА Н.И. БРАЖНИКОВА / А.И. Бражников, В.А. Белевитин, Ф.И. Бражников и др. // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2005. – № 3. – С. 54–56.

28. О МОДЕЛИРОВАНИИ ПЛАСТИЧЕСКОГО ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ РАСКАТОВ С НЕРАВНОМЕРНЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ТЕМПЕРАТУРЫ ПО СЕЧЕНИЮ НА ПЛАСТИЛИНОВЫХ МОДЕЛЯХ / А.А. Минаев, Е.Н. Смирнов, В.А. Белевитин // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 1992. – № 4. – С. 57–59.

29. АКУСТИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ СВОЙСТВ УПРУГИХ И ТВЕРДЫХ СРЕД В ТЕХНИКЕ: монография / Н.И. Бражников, В.А. Белевитин, Е.В. Бражникова. Челябинск, Челяб. гос. пед. ун-т. 2012.

30. Воронцов, В.К. ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЕЙ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ПРИ ПРОКАТЕ КВАДРАТНОЙ ПОЛОСЫ В

- ОВАЛЬНОМ КАЛИБРЕ / В.К. Воронцов, Ю.С. Атеф, В.В. Бринза, В.А. Белевитин // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 1977. – № 5. – С. 101-105.
31. ULTRASONIC CONTROL OF THE FLUID-FLOW VELOCITY WITHOUT N. I. BRAZHNIKOV'S UNDOCKING OF A PIPELINE / A.I. Brazhnikov, V.A. Belevitin, F.I. Brazhnikov, E.L. Ivanov // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. 2006. – Т. 79. – № 2. – С. 345-353.
32. Belevitin, V.A. PRESSURE TREATMENT OF METALS MONITORING THE THICKNESS OF SUPERTHIN STEEL BY MEANS OF UD2-12 DEFECTOSCOPES / V.A. Belevitin, A.I. Brazhnikov, E.L. Ivanov, A.K. Tarelkin // Steel in Translation. 2006. – Т. 36. – № 1. – С. 40-42.
33. Belevitin, V.A. CONTRIBUTION OF URAL METAL INDUSTRY TO ECONOMICS OF RUSSIA / V.A. Belevitin // Сталь. 2001. № 9. С. 125-128.
34. Автомобильные эксплуатационные материалы: сб-к лабор. работ / А.Г. Карпенко, К.В. Глемба, В.А. Белевитин. – Челябинск: Изд-во : Челяб. гос. пед. ун-та, 2014. – 104 с.
35. Белевитин, В.А. Материаловедение: неметаллические материалы: учеб. пособие / В.А. Белевитин. – Челябинск: Изд-во Юж.-Урал. гос. гуман.-пед. ун-та, 2017. – 109 с.
36. Руднев, В.В. Моделирование ресурсов повышения экологической безопасности крупных городов [Текст]: монография / В.В. Руднев, М.Л. Хасанова, В.А. Белевитин. – Челябинск: Изд-во Юж.-Урал. гос. гуман.-пед. ун-та, 2017. – 88 с.: ил.
37. Технология конструкционных материалов: обработка металлов давлением: учеб пособие / В.А. Белевитин, Е.Н. Смирнов, А.В. Суворов. – Челябинск: Изд-во Челябин. гос. пед. ун-та, 2015. – 184 с.: ил.

38. Самойлик, В.Г. Специальные и комбинированные методы обогащения полезных ископаемых: учеб. пособие / В.Г. Самойлик. Донецк: Изд-во ООО «Східний видавничий дім», 2015. – 165 с.
39. Казармщиков, И.Т. Производство металлических конструкционных материалов: учеб. пособие [Текст] / И.Т. Казармщиков. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2004. – 247 с.
40. Gafarova, E.A. Modeling educational process optimization in the development of individual creativity by extending modality skills of the learners / E.A. Gafarova, V.A. Belevitin, Y.N. Smyrnov // Mechanics and Advanced Technologies, 2017, № 2 (80). P. 25–30.
41. Белевитин, В.А. Влияние тернарности представления учебной информации на повышение креативности обучающихся / В.А. Белевитин, Е.А. Гафарова, Ю.В. Корчешкина, ОН. Шварцкоп // European Social Science Journal. 2017. – № 6. – С. 194–200.
42. К РЕШЕНИЮ ОБЪЕМНОЙ ЗАДАЧИ СТАЦИОНАРНОГО ПЛАСТИЧЕСКОГО ТЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛА МЕТОДОМ КООРДИНАТНОЙ СЕТКИ / В.К. Воронцов, П.И. Полухин, В.А. Белевитин, В.В. Бринза // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 1976. – № 9. – С. 77–80.
43. MAGNETIC METHOD NONDESTRUCTIVE EXPRESS INSPECTION OF MECHANICAL PROPERTIES / V.A. Belevitin, A.L. Mazurovskij, N.I. Brazhnikov, I.P. Belevitina // Металлург. 1996. – № 11. – С. 34.
44. Белевитин, В.А. Технология конструкционных материалов: производство горячекатаных блюмов и сортовых заготовок: учеб. пособие / Е.Н. Смирнов, В.А. Белевитин, В.А. Скляр, В.В. Кисиль. Челябинск: Изд-во ЧГПУ. 2016. – 188 с.

45. Патент на изобретение РФ №2558701 Слиток для деформирования / В.А. Белевитин, С.Ю. Коваленко, Е.Н. Смирнов, А.В. Суворов.
46. Патент на полезную модель РФ № 156309 Слиток для деформирования / В.А. Белевитин, С.Ю. Коваленко, Е.Н. Смирнов, А.В. Суворов.
47. Патент на изобретение РФ № 2570564 Способ изготовления модельного образца для определения деформаций / В.А. Белевитин, С.Ю. Коваленко, Е.Н. Смирнов, А.В. Суворов.
48. Патент на полезную модель РФ № 163039 Слиток для деформирования / В.А. Белевитин, С.Ю. Коваленко, Е.Н. Смирнов, А.В. Суворов.
49. Патент на изобретение РФ № 2616671 Способ изготовления модельного образца для определения деформаций / В.А. Белевитин, С.Ю. Коваленко, Е.Н. Смирнов, А.В. Суворов.
50. Минаев, А.А. Исследование полей деформации при прокатке овальных заготовок с неравномерным распределением температуры по сечению / А.А.Минаев, В.А. Белевитин, Е.Н. Смирнов, О.С. Савицкий // Известия вузов. Черная металлургия. – 1992. – №6. – С.20–24.
51. Минаев, А. А. Скорость течения металла при прокатке овальных заготовок с неравномерным распределением температуры по сечению / А.А. Минаев, В.А. Белевитин, Е.Н. Смирнов // Известия высших учебных заведений. Чёрная металлургия. – 1993. – № 11-12. – С. 22-25.
52. Минаев, А. А. Демонотонность пластического формоизменения при прокатке овальных заготовок с неравномерным распределением температуры по сечению / А. А. Минаев, Е. Н. Смирнов, В. А. Белевитин // Известия высших учебных заведений. Чёрная металлургия. – 1993. – № 6. – С. 34–37.

*Учебное издание*

*Белевитин Владимир Анатольевич*

**ЖЕЛЕЗОРУДНАЯ ПОДГОТОВКА  
ПРОИЗВОДСТВА  
КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Учебное пособие

Компьютерная верстка В.А.Белевитин

ISBN 978-5-91283-894-1

Подписано в печать 11.12.2017

Формат 60x841/16

Объем 3,81 уч.-изд. л.

Заказ № 864

Тираж 100 экз.

Издательство ЗАО «ЦИЦЕРО»

454080, г. Челябинск, Свердловский пр-т., 60

Отпечатано с готового оригинал-макета

в типографии ЮУрГППУ

454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 69