

**РЕСПУБЛИКА УЗБЕКИСТАН
НАВОЙСКИЙ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ КОМБИНАТ
НАВОЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ**

*На правах рукописи
УДК 622.284*

НОРКУЗИЕВ Музаффар Абдувакилович

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ СИСТЕМЫ
УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ РУД ПРИ ПОДЗЕМНОЙ ДОБЫЧЕ**

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание степени магистра по специальности 5А540202 –
«Разработка месторождений полезных ископаемых подземным способом»

Работа рассмотрена и
допускается к защите

Зав. кафедрой «Горное дело»:

_____ к.т.н., доц. Исмаилов А.С.

«___» _____ 2011 г.

Научный руководитель:

_____ к.п.н., доц. Мислибоев И.Т.

«___» _____ 2011 г.

НАВОЙ – 2011

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. СОСТОЯНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ И ВОПРОСОВ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ РУД В ГОРНОДОБЫВАЮЩЕМ ПРОИЗВОДСТВЕ	8
1.1. Основные положения управления качеством руд.....	8
1.2. Анализ практики повышения концентрации металлов в рудной массе при её добыче.....	14
1.3. Базовые исследования в области радиометрической сепарации	31
1.4. Основные исследования в области усреднения руд в подземных рудниках.....	32
Основные выводы	36
2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РУДНИЧНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ РУД	38
2.1. Систематизация способов управления качеством руд при подземной добыче	38
2.2. Показатели предконцентрации рудной массы	46
2.3. Методика моделирования процесса предконцентрации рудной массы	49
2.4. Показатели, используемые для количественной оценки изменчивости качества руд	57
2.5. Трансформация изменчивости качества руды и её вероятностные модели	65
2.6. Общая структура рудничной системы управления качеством руды.....	74
2.7. Взаимная увязка различных требований к качеству руды	83
Основные выводы	88

3. КОНЦЕПЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПРЕДКОНЦЕНТРАЦИИ РУДНОЙ МАССЫ ПРИ ПОДЗЕМНОЙ ДОБЫЧЕ РУД	92
3.1. Принципиальные положения по созданию рудничных технологий предконцентрации рудной массы	92
3.2. Классификация рудничных технологических схем добычи с предконцентрацией рудной массы	100
3.3. Рудничные технологические схемы предконцентрации рудной массы	103
Основные выводы	116
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	119
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	121

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Магистерская диссертация посвящена совершенствованию горно-добычных работ при подземной разработке мощных рудных месторождений с обеспечением внутрирудничного управления качеством рудной массы в условиях закономерного объединения запасов недр, происходящего вследствие интенсивной эксплуатации месторождения при отставании восполнения богатых промышленных запасов.

В современном мире проблема обеспечения качества продукции горного производства приобретает всё большую остроту, практически, для всех перерабатывающих отраслей промышленности. В наибольшей мере эта проблема проявляется в чёрной и цветной металлургии, особенно там, где производятся наиболее востребованные металлы.

Анализ общего состояния отечественных минерально-сырьевых ресурсов показывает, что в дальнейшем ожидается напряжённое положение с обеспечением металлургии достаточно высококачественными рудами. Из вышесказанного, очевидно, что традиционный путь решения проблемы качества добытых руд, главным образом, за счёт выборочного извлечения более богатых руд в основном себя исчерпал. И поэтому такой путь дальнейшего развития отечественного горнодобывающего производства становится всё менее перспективным.

Более перспективное решение проблемы обеспечения перерабатывающих производств рудо-минеральным сырьём требуемого качества в условиях закономерного ухудшения минерально-сырьевой базы может быть осуществлено за счёт совершенствования управления качеством руд при их добыче. Для этого необходима такая модернизация горнодобывающих предприятий, чтобы производство адекватно соответствовало существенно меняющимся горно-геологическими, горно-техническими, а также новыми хозяйственными и экономическими условиями, решение

которых является актуальной задачей горно-металлургической отрасли Республики Узбекистан.

Цель исследования – разработка системы технологических решений по управлению качеством руд при подземной добыче, обеспечивающих эффективное функционирование горно-металлургического производства в условиях интенсивно ухудшающейся минерально-сырьевой базы.

В связи с поставленной целью в работе решались следующие основные комплексы задач теоретического и горно-технологического плана:

1. Обобщение исследований и практики формирования качества руд при их подземной добыче.
2. Развитие теории управления качеством руд при подземной разработке.
3. Разработка концептуальных положений по системному решению проблемы качества руд при подземной добыче.
4. Разработка системы технологических решений по управлению качеством руд при подземной добыче.

Методы исследования. Магистерская диссертационная работа выполнена с применением комплексного метода исследований, включающего теоретические обобщения, экспериментальные исследования в лабораторных и промышленных условиях с использованием математического и графоаналитического моделирования по управлению качеством полезных ископаемых при добыче; методом математического программирования управления качеством руд, а также математической статистики корреляционного анализа испытания в промышленных условиях.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту и научная новизна работы:

1. Проблема качества рудного сырья в условиях ухудшения минерально-сырьевой базы отрасли решается необходимыми мероприятиями для всех комплексов горно-металлургических производств, состоящих из

первоочередной их модернизации, которая является системой получения основной оперативной информацией о качестве руд.

2. Повышение содержания полезных компонентов в добытой руде в подземных условиях может эффективно решаться за счёт внутрирудничной предконцентрации, с использованием рентгенорадиометрических средств сепарации, обеспечивающих удвоение содержания металлов в добытой руде с одновременным снижением в ней до 50% и более некондиционной рудной массы.

3. В подземных рудниках повышение коэффициента усреднения состава рудной массы в технологических схемах в 2-3 раза базируется на предлагаемой технической, технологической и организационной модернизациях производств, обеспечивающих снижение низкочастотных колебаний содержания металла в добытой руде.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждаются надёжностью и представительностью исходных данных, высокой степенью корреляции полученных зависимостей (корреляционное отношение $R=0,6-0,9$), а также удовлетворительной сходимостью результатов моделирования с данными производственных исследований и натуральных наблюдений, которые не превышают 10-15%.

Научное значение работы заключается в научном обосновании, модернизации технологии подземной добычи полезных ископаемых и разработка систем управления качеством руд за счет снижения их количества и природных запасов.

Практическое значение диссертации состоит в разработке инженерных основ создания и модернизации рудничных систем управления качеством руд, в формировании новых технологических схем горно-добычных работ, а также в разработке конкретных технологических и организационных решений, обеспечивающих улучшение продукции рудников.

Апробация работы. Результаты исследований докладывались на научно-практической конференции одаренных студентов и магистрантов на тему «Фан ва техника тараққиётида ёшлар» в г. Навоий в 2010–2011 гг.

Автор выражает искреннюю благодарность и глубокую признательность научному руководителю – кандидату педагогических наук, доценту Мислибоеву И.Т. и доктору технических наук, профессору Норову Ю.Д. за принципиальные замечания и ценные рекомендации при подготовке данной диссертационной работы.

1. СОСТОЯНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ И ВОПРОСОВ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ РУД В ГОРНОДОБЫВАЮЩЕМ ПРОИЗВОДСТВЕ

1.1. Основные положения управления качеством руд

В подземных условиях предконцентрация рудной массы это создание в рамках современного высокопроизводительного горно-добычного комплекса, в котором отбитая рудная масса, при её прохождении по технологической цепи рудника разделяется на два или несколько потоков, состоящих из рудной массы с повышенным содержанием полезных компонентов (предконцентрата) и отходов предконцентрации (пустых пород или некондиционной руды). Такой производственный процесс ещё называется механизированной породотборкой.

Кроме того, возможны и варианты технологии с разделением по типам и сортам руды. Например, рудная масса может делиться на потоки сплошных и вкрапленных руд, медных и медно-свинцовых, окисленных и неокисленных, силикатных и сульфидных и др. Посортное выделение руд имеет смысл при селективных схемах обогащения, как известно, обеспечивающих более полное извлечение полезных компонентов и сокращение отходов переработки.

Процесс предконцентрации (сортировки) максимально автоматизируется с применением специальных сепараторных устройств. В основу процессов предконцентрации закладываются устойчивые корреляционные связи между определёнными физическими характеристиками и вещественным составом горных пород, а также - степень различия этих характеристик между разделяемыми компонентами рудной массы (понятие - контрастность).

Разделение компонентов рудной массы может производиться на базе непосредственного использования различия каких-то свойств полезных ископаемых и засоряющих их горных пород. Так, некоторые руды

(свинцовые, медные сульфидные, золотокварцевые и др.), имея относительно большую хрупкость и меньшую прочность, образуют в навале рудной массы менее крупные куски и большее количество мелочи, чем окружающие их горные породы. Это позволяет отделять наиболее богатую часть рудной массы путём её грохочения.

Кроме того, возможны и варианты технологии с разделением по типам и сортам руды. Например, рудная масса может делиться на потоки сплошных и вкрапленных руд, медных и медно-свинцовых, окисленных и неокисленных, силикатных и сульфидных и др. Посортное выделение руд имеет смысл при селективных схемах обогащения, как известно, обеспечивающих более полное и извлечение полезных компонентов и сокращение отходов переработки.

Процесс пред концентрации максимально автоматизируется с применением специальных сепараторных устройств. В основу процессов пред концентрации закладываются устойчивые корреляционные связи между определёнными физическими характеристиками и вещественным составом горных пород, а также - степень различия этих характеристик между разделяемыми компонентами рудной массы (понятие - контрастность).

Разделение компонентов рудной массы может производиться на базе непосредственного использования различия каких-то свойств полезных ископаемых и засоряющих их горных пород. Так, некоторые руды (свинцовые, медные сульфидные, золотокварцевые и др.), имея относительно большую хрупкость и меньшую прочность, образуют в навале рудной массы менее крупные куски и большее количество мелочи, чем окружающие их горные породы. Это позволяет отделять наиболее богатую часть рудной массы путём её грохочения.

Определяющими для эффективного разделения рудной массы являются наличие двух условий:

1. Технических средств, для достаточно быстрого и точного определения вещественного или минералогического состава рудной массы.

2. Способов селекции, технологичных для горного производства.

Наиболее универсальными средствами оперативного распознавания состава руд являются радиометрические. Радиометрическим методом для управления качеством руд начали пользоваться с 40-х годов прошлого века на урановых рудниках. Концентрацию радиоактивных химических элементов в руде (в массиве и в навалe) устанавливали с помощью радиометров. При этом использовали прямую зависимость концентрации металла от интенсивности радиационного излучения.

Впоследствии радиометрический метод опробования стали использовать и для нерадиоактивных полезных ископаемых. Для этого производится облучение, нерадиоактивных в естественном состоянии, руд и анализируется спектр отражённого луча с выделением с помощью специальных фильтров интересующих химических элементов. В качестве источника возбуждения используются радиоизотопы или рентгеновские трубки. Вначале такие приборы создавались и в основном исходя из потребностей химии, металлургии, обогащения, а также для геофизического поиска и разведки месторождений полезных ископаемых. Главным образом, это стационарные лабораторные установки, для которых в качестве проб используются навески горных пород в порошковом состоянии. Приборы, применяемые в геологоразведке, в том числе для каротажа скважин, выполнены в виде передвижных установок и снимают данные о вещественном составе со стенок скважин или других горных выработок.

В начале 70-х годов был создан первый образец портативного прибора, предназначенного для использования в полевых условиях. Это был рентгеноспектральный аппарат "Барс-2Н. Позже конструкция таких приборов совершенствовалась: уменьшалась их масса, применялись различные источники излучения, увеличивалась точность и надёжность аппаратуры. Современные экспресс-анализаторы создаются на базе ноутбука или карманного компьютера с автономной системой питания. В основном в

этих приборах используется γ -излучение, в т.ч. создаваемые с помощью рентгеновских трубок.

Такие приборы-анализаторы позволяют производить оперативное опробование кускового материала или массива горных пород, за доли секунды устанавливая содержание до 20 химических элементов. В настоящее время отечественные и зарубежные компании выпускают как стационарные, так и портативные аппараты для экспресс-анализа минеральных сред.

Естественно, что информация, получаемая на портативных аппаратах менее точная, чем на стационарных установках. Тем более, что они работают не на специально подготовленных порошковых пробах, а на кусковом материале и в массиве горных пород. Но главное их достоинство это - быстрота и возможность получения большого массива статистических данных за относительно короткие сроки, что необходимо и часто вполне достаточно для оперативного управления производством.

Дело в том, что общепринятый способ опробования рудных тел и отбитой рудной массы, основанный на взятии множества проб с последующим их химическим анализом, стал отставать от потребностей современных рудников с интенсивным темпом производства и тормозить их дальнейшее развитие.

В связи с малой оперативностью, результаты такого анализа получают в лучшем случае через несколько часов после опробования, а на практике на это обычно уходят сутки. Таким образом, информация о качестве руды в потоке отстаёт от выполнения добычных работ и последующих производственных процессов.

Как следствие этого, не имея своевременной информации о характеристиках рудной массы в конкретных пунктах, управление производством осуществляется исходя из самых общих представлений о реальной ситуации. Поэтому создание на рудниках сквозной, оперативно действующей системы информации о качестве руды по всей технологической цепи, начиная от опробования рудного тела и отбитой руды по каждому

забою (очистному блоку, панели) и заканчивая складами и рудопотоками на поверхности, является необходимым условием эффективного управления процессом формирования качества продукции рудника.

Такая система необходима не только для повышения среднего содержания полезных компонентов в результирующем общешахтном рудопотоке, но она также нужна для стабилизации его вещественного состава. Лишь оперативно получая достоверную информацию о характеристиках руды по всему диапазону шахтного поля и по всей технологической схеме рудника можно достаточно результативно осуществлять управление производством.

Вопрос стабилизации качественных характеристик рудной массы отправляемой на переработку, как это было уже показано выше, становится ещё более актуальным со снижением среднего уровня содержания в ней полезных компонентов. Именно по этой причине проблема стабильности рудо-минерального сырья вначале остро проявилась при открытой добыче, где обычно добывают более бедные руды. Подземные же рудники стали заниматься решением этой проблемы, в основном, значительно позже.

Кроме разработки более высококачественных руд, определённую роль в этом сыграло и то обстоятельство, что подземные рудники имеют, по сравнению с карьерами, более многоступенчатую технологию добычных работ с многократным перемешиванием рудной массы. Так, при подземной добыче, кроме взрывной отбойки, выполняются гравитационные процессы выпуска рудной массы через множество выпускных отверстий, её доставка с перепуском через блоковые, участковые и капитальные рудоспуски, подземное механическое дробление с бункеризацией руды, а также ряд других процессов и операций, сопровождаемых перегрузочными работами.

Кроме того, рабочая ёмкость подземного горного и транспортного оборудования и технологические параметры элементов горных работ обычно меньше. Поэтому и дозы смешивания разнокачественной рудной массы ниже, чем в карьерах. Все это способствует тому, что степень усреднения

рудной массы при подземной добыче существенно выше, чем при открытых горных работах. Как результат - трудно управляемый процесс выравнивания качественных характеристик рудной массы в руднике происходит значительно интенсивнее и эффективнее.

В определённых условиях, особенно при разработке богатых руд с относительно небольшой изменчивостью показателей качества руды в недрах, этой естественной усреднительной способности подземной горно-добычной технологии оказывается достаточно для удовлетворения потребности перерабатывающего производства. Но, по мере обеднения рудных запасов, в разработку вовлекается все больше участков месторождения с неустойчивыми характеристиками руды.

Как следствие этого, понижается среднее содержание металлов, увеличивается амплитуда и частота изменения содержания металлов в объеме извлекаемых запасов руды, оказывая всё большее негативное воздействие на горно-металлургическое производство. Но и при наличии относительно богатых руд определённая степень изменчивости их качества имеет место и поэтому всегда есть объективная необходимость управления качеством.

Вопрос заключается лишь в том, на каком этапе всего комплекса производств возможно технологически наиболее эффективно выполнять соответствующие мероприятия по управлению качеством руды: в подземном пространстве рудника, на его промплощадке, в транспортных средствах или на территории обогатительной фабрики.

Мировой опыт и практика отдельных отечественных горных предприятий подтверждают актуальность и технологическую возможность эффективного решения проблемы управления качеством рудо-минерального сырья уже на стадии горного производства. Это тем более важно, так как процесс повышения качества конечной продукции, как правило, многостадийный. Решить эту проблему только за счёт технологий

переработки обычно значительно дороже и не всегда технически возможно на должном уровне.

Проблема управляемого формирования качества рудо-минерального сырья в процессе его добычи является по своей сути технико-экономической. Технологически в ней выделяются два самостоятельных и вместе с тем взаимосвязанных аспекта:

- увеличение концентрации полезных компонентов в добытой рудной массе;
- повышение степени стабильности вещественного и минерального состава рудной массы.

Кроме того, весьма актуальны и другие направления проблемы обеспечения качества рудо-минерального сырья в части его гранулометрического состава, прочностных характеристик, влажности, засорённости закладочным материалом, попадания металлических и деревянных предметов и др.

1.2. Анализ практики повышения концентрации металлов в рудной массе при её добыче

Наиболее радикальный способ повышения концентрации металла в рудной массе это её обогащение. В мировой практике известны примеры размещения обогатительного производства в горных выработках действующих рудников. Вначале главной причиной такого объединения обогатительной фабрики и подземного рудника было наличие дефицита площадей на земной поверхности, необходимых для размещения производственных объектов обогатительных фабрик. Чаще фактор нехватки земных площадей возникает при разработке месторождений, расположенных в гористой местности.

В дальнейшем подземные горно-обогатительные предприятия стали создавать в очень глубоких рудниках с характерной многоступенчатой

схемой вскрытия рудничного поля, когда нагрузка на рудничный транспорт и подъём рудной массы значительно возрастает и возникает настоятельная необходимость уменьшения интенсивности рудопотока. Наиболее остро эта проблема проявляется при добыче руд цветных, редких и благородных металлов, т.е. таких руд, в которых полезный компонент составляет весьма малую долю в общем объёме добытой рудной массы.

В процессе эксплуатации уже имеющихся подземных горно-обогатительных комплексов проявился ряд их преимуществ перед традиционными технологиями:

- уменьшение дистанции от забоев до места переработки руды с соответствующим сокращением затрат на непроизводительное перемещение внутри рудника и на поверхности, а также на подъём, значительной части рудной массы, представленной пустой породой;

- большие возможности для сокращения затрат на утилизацию хвостов обогащения с одновременным удешевлением закладочных работ в руднике;

- значительное сокращение земельных площадей, отчуждаемых на горно-обогатительное производство, транспортные коммуникации и создание хвостохранилищ, в результате чего не только уменьшаются затраты на производство, но и снижаются негативные воздействия на окружающую природную среду;

- создаются весьма благоприятные условия для использования в процессах обогащения сил гравитации, что существенно удешевляет технологию обогащения. Подземное размещение основных объектов обогатительного производства стимулирует создание автоматизированных, в основном, малолюдных технологий.

Вместе с тем, к недостаткам такой технологии следует отнести:

- определённое усложнение организации обогатительного производства;

- возможно возникновение ряда ограничений для работы рудника, в частности, по взрывным работам, по вентиляции и др.

Постепенно, по мере углубления горных работ, требуется увеличивать и усложнять подъёмно-транспортные коммуникации от забоев к обогащательному производству, в связи с чем существенно увеличиваются затраты на поддержание горных выработок и эксплуатацию коммуникаций.

Чтобы не потерять безвозвратно металлы, оставшиеся в хвостах обогащения, утилизированных в выработанном пространстве, необходимо наличие таких горнодобывающих технологий, при которых в дальнейшем было бы возможным извлечение и переработка этих хвостов.

Возникают определённые ограничения в части технологий обогащения из-за необходимости исключить возможные проникновения в горные выработки и в земные недра жидких и газообразных отходов, в первую очередь, содержащих токсины.

Из литературы [2, 12, 18] известны как уже действующие подземные горнодобывающие предприятия, совмещённые с обогащательным производством, так и проектно-исследовательские работы по созданию таких комбинированных предприятий.

На руднике "Рио-Батисо" (Чили), разрабатывающем медно-порфиновые руды в районе с сильно пересечённой местностью, в подземных камерах общим объемом 306 тыс. куб. м. размещены цеха дробления, измельчения и флотации, полная технологическая схема приведена в работе [2].

Добытая рудная масса поступает на обогащение через рудоспуски, вначале она аккумулируется в бункерах, а затем ленточными конвейерами подаётся в дробильное отделение. Дробление руды вначале в щековых, а затем в конусных и в короткоконусных дробилках. Перед каждой стадией дробления выполняется грохочение рудной массы. Процесс измельчения осуществляется в ниже расположенном мельничном отделении, для чего рудная масса под действием гравитации подаётся через вертикальную горную выработку. Это отделение оборудовано шаровыми и стержневыми мельницами. Далее выполняется процесс флотации, который происходит в двух секциях, после чего медный концентрат по трубам выдают на земную

поверхность. Производство рассчитано на переработку порядка 20 тыс. т. руды в сутки.

Рудники "Мадригал" (Перу) разрабатывает подземным способом месторождение медно-цинковых руд "Санта Роса", технологическая схема которого приведена в работе [18].

Добытая рудная масса вначале поступает в рудоспуск, откуда по нижнему откаточному горизонту - в бункера дробильного комплекса. После дробления, с помощью ленточного транспортёра, рудная масса подаётся к двухдонному виброгрохоту. Надрешёточный материал поступает к конусной дробилке, а подрешёточный - через ленточный конвейер загружается в бункер. Далее материал измельчается в шаровых мельницах, классифицируется и направляется на селективную флотацию, где происходит раздельное выделение в концентраты меди и цинка. Затем концентраты, полученные в результате переработки, фильтруются и сгущаются, после чего отправляются на земную поверхность. Мощность подземного обогатительного производства около 3 тыс. т в месяц.

Медный рудник "Сонро" (Канада) имеет в своём составе подземную обогатительную фабрику производящую 1,35 тыс. т концентрата в сутки, технологическая схема которого приведена в работе [2].

Основная причина подземного размещения обогатительного производства в подземном пространстве это - сложный складчатый рельеф местности, что предопределяло расположение соответствующих цехов на большом расстоянии от рудника. В технологической схеме фабрики трёхстадийное измельчение и цикл флотации. В двух подземных камерах размещены две конусные дробилки, четыре шаровые мельницы и две флотационные машины. Хвосты обогащения по трубам выдаются на поверхность и утилизируются в море.

Свинцово-цинковый рудник "Сала фосса" (Италия) также расположен в гористой местности, технологическая схема которого приведена в работе [18].

Оборудование для дробления, измельчения и для обогащения в тяжёлых суспензиях со всеми коммуникациями разместили в подземных камерах, а также в других горных выработках рудника. Всё это позволило значительно сократить затраты на строительство основного обогатительного комплекса, на транспорт рудного сырья и эксплуатационные затраты на обогащение. В установках с тяжёлыми суспензиями извлекают до 50% пустых пород в виде лёгких фракций. Полученный при этом полезный продукт автосамосвалами по штольне транспортируется на обогатительную фабрику, а отходы предконцентрации в отвалы. По существу в данном случае осуществлён один из вариантов предварительной концентрации рудной массы в подземном руднике.

Для наиболее глубоких рудников Витватерфанда (ЮАР) проектируется подземное обогащение золотосодержащей руды, технологическая схема которого приведена в работе [18].

Основная причина такой технологии это значительное возрастание затрат на рудничный транспорт и подъём рудной массы. В подземном пространстве предусматривается грохочение, механическое дробление и измельчение руды. Последующий процесс флотации предполагается также выполнять в подземных горных выработках концентрат будет выдаваться на земную поверхность, а хвост обогащения (после обезвоживания) использоваться в применение такой технологии общие затраты энергии на транспорт и подъём сократятся в 4 раза.

В России странах СНГ пока еще нет претендентов промышленного применения технологий добычных работ с подземным размещением обогатительного производства.

Первый опыт использования радиометрии при обогащении нерадиоактивных руд был связан с созданием в 30-е годы М.Е. Богословским рентгено-люминисцентного анализатора, применённого для обогащения алмазосодержащих руд [6, 56]. Позднее им же был предложен гамма-абсорбционный метод обогащения. Оба эти постоянно совершенствуемых

метода и в современных условиях эффективно используются при обогащении определённых видов полезных ископаемых. В начальный период освоения радиометрических методов большой вклад в развитие теории и конструирование радиометрической аппаратуры внёс Г.Р. Гольбек [6, 56].

К 60-м годам в мире был уже накоплен определённый опыт практического применения радиометрических способов в химии, металлургии и атомной промышленности, в результате чего появились хорошие предпосылки для совершенствования обогатительных процессов. С этого времени стали интенсивно развиваться соответствующие теории, технические средства и новые технологии. Основополагающими в этом направлении были работы отечественных учёных: Архипова, В. А. Мокроусова, В.А. Лилеева, Третьякова, Е.П. Лемана, Киля, В.А. Мейера, Г.А. Иванковича, А.П. Татарникова, А.Ю. Большакова, Т.Г. Рыбакова и др.

В Московском горном институте (ныне университете) исследования в области управления качества руд при их добыче и в том числе по разработке более эффективной рудничной информационной системы качества руды проводятся с 60-х годов прошлого столетия.

В начале 70-х годов в соответствии с техническими требованиями, разработанными Г.Г. Ломоносовым и В.Ф. Кузиным, в П.О. "Буревестник" (Ленинград) был создан (Э.А. Аб, В.Л. Гордин, Л.А. Альтман и др.) и испытан на Гайском ГОКе первый портативный рентгеноспектральный аппарат "Барс-2", предназначенный для использования в производственных условиях рудников [49]. Фактически, этот прибор положил начало созданию современных малогабаритных переносных аппаратов для экспресс-контроля вещественного состава руд. Одновременно для карьеров и подземных рудников стали разрабатывать новые технологии добычных работ, обеспечивающие повышение качества добытой руды с использованием современных средств оперативной информации.

На отдельных горнодобывающих предприятиях чёрной и цветной металлургии начиная с 70–80-х годов проводились опытно-

экспериментальные работы по пред концентрации рудной массы с радиометрическим анализом состава руд. В основном это было крупнопорционное разделение рудной массы (в объёме горно-транспортных ёмкостей). Так, на Алмалыкском горно-металлургическом и Зыряновском свинцово-цинковом комбинатах были внедрены в производство стационарные (у опрокидывателей) рудоконтролирующие станции типа "Скат" и "Фрезка", с помощью которых производили отбраковку вагонов и составов с некондиционной рудой.

При этом по Алмалыкскому комбинату [18, 76] было выделено из общего рудопотока около 102 тыс. т пустых пород и весьма бедных руд. Кроме того, используя рудоконтролирующую аппаратуру, были переработаны некоторые отвалов некондиционных руд, откуда было извлечено до 50% товарной руды. Все эти мероприятия позволили повысить концентрацию металлов в рудной массе в 2-2,5 раза, увеличив извлечение, соответственно, свинца на 9,5% и цинка на 3,5%.

В условиях Алтын-Топканского месторождения [76] для получения оперативной информации была использована рудоконтролирующая установка "Фрезка-М". Это позволило не только эффективнее контролировать вещественный состав в рудопотоке, но и производить отделение от него вагонов, гружённых некачественной рудой. Всего было отбраковано 46 тыс. т. пустых пород и некондиционной руды, что заметно улучшило показатели предприятия.

Такая технология [62] наиболее широко была применена на Зыряновском комбинате. Рудоконтролирующая станция "Скат" была установлена на рабочем горизонте Греховского рудника. Рудная масса, находящаяся в вагонах подвергалась гамма-излучению с последующей регистрацией вторичного рассеяния, Вся эта аппаратура работала совместно с автоматическими весами и была соединена оперативной связью с диспетчером. В результате на центральный пульт поступали сведения не только о количестве отгруженной в бункеры руды, но также о качестве её в

каждом вагоне. Данная система создавалась как управляющая качеством рудной массы.

Главным недостатком данной системе заключался в том, что она в основном функционировала как вспомогательная - контролирующая. Но она не имела возможности эффективно выбраковывать отдельные вагоны, поскольку в технологической схеме рудника не были предусмотрены обратные транспортные потоки с некачественной рудой.

Опыт Зырянского и других горных предприятий по крупнопорционной сепарации с использованием в шахтных условиях радиоизотопных средств контроля качества руды, позволил объективно выделить достоинства и недостатки радиометрического способа получения оперативной информации с применением радиоизотопов. Конечно, радиоактивные источники излучения являются мощнейшим средством, поскольку способны обеспечить проникновения (в зависимости от мощности источника и жёсткости излучения) в рудный массив до 0,5... 1,0 м. и тем самым получить наиболее адекватные натуре результаты. Но, с другой стороны, использование мощных источников в шахтных, а тем более в нестационарных условиях сопряжено с определённой опасностью и необходимостью утилизации отработанных элементов. По этой причине для применения в рудниках в большей мере применяют радиометрические аппараты с менее активными источниками возбуждения (например, рентгеновскими), обеспечивающие меньшую глубину проникновения в изучаемую среду для оперативного регулирования процессами добыче.

На Садонском руднике проводились испытания по методике [17] крупно-порционной (подвагонной и по автомобильной) рудосортировки с применением рентгенорадиометрической аппаратуры марки РРША-1. При этом опробование руды выполнялось одновременно по - трём химическим элементам: свинцу, цинку и сере.

В результате этих исследований были разработаны [49, 50, 51, 52] классификации и принципиальные положения по формированию качества

рудной массы при добыче, развиты некоторые теоретические аспекты проблемы, сформулированы концепции новых технологий добычи и предложены технологические решения для условий конкретных горных предприятий. Способы перед концентрации были систематизированы в зависимости от величины порций (крупно-, средне-, мелко порционное и покусковое) и места производства работ по сепарации рудной массы (подземные: призабойное, участковое, околоствольное и поверхностное).

Известны и другие случаи применения крупнопорционного способа выделения из общего транспортного рудопотока части рудной массы некондиционного состава. Так, на одном из оловодобывающих рудников [18] с помощью прибора РРША-1 производилось опробование руды в составах на выходе из капитальной штольни и отбраковка некондиционных партий. На измерение затрачивалось до 20 с на каждую вагонетку. Расхождение данных этих измерений с полученными на обогатительной фабрике не превышали 28%. Оценку результатов сортировки производили при изменении порога разделения по содержанию олова от 0,01 до 0,25%. При этом количество горных пород, отделённых от общей рудной массы изменялось, соответственно, с 7 до 62% к первоначальному её объёму. Причём среднее содержание в рудной массе при подвагонной сепарации повышалось в 2,19 раза и в 1,76 раза для случаев отбраковки целыми составами. Всего в процессе применения такой технологии было отделено от 28% до 35% некондиционной рудной массы.

На некоторых рудниках были проведены опытно-экспериментальные работы. Однако широкого распространения на другие предприятия эти работы так и не получили.

Из зарубежных сепараторов рудной массы известны аппараты таких фирм как Outokumpu Oy (Финляндия), Gunsens Sortex Ltd. (Великобритания), Gromax (США), Ore Corters Ltd. (Канада), Gold Field (ЮАР) и др. Однако аппараты эти предназначены для использования в стационарных условиях перерабатывающих производств. Поэтому для них необходимо

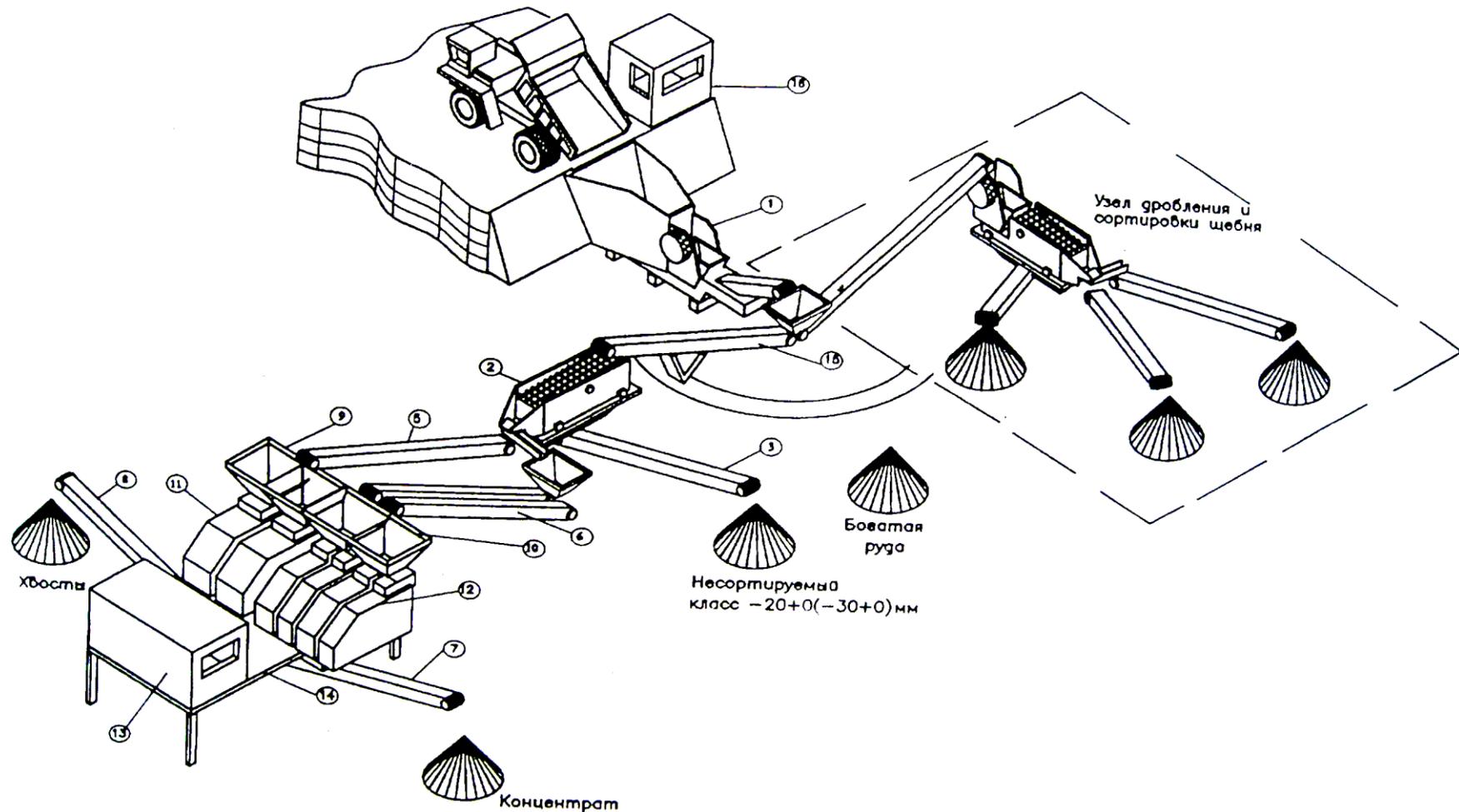
внутрицеховое размещение и соответствующая подготовка рудной массы (отмывка, дробление, классификация), что в рудничных условиях вызывает определённые трудности. Наиболее привлекательными, в качестве прототипов для сепарации с адаптации их для подземных условий, являются аппараты фирмы Ore Corters Ltd. марки M19 и M27, обеспечивающие переработку материала с классом крупности кусков -300...+20 мм и с заявленной производительностью разделения рудной массы 1150.. 200 т/ч.

К настоящему времени на десятках предприятий (в основном на отвалах бедных руд цветной и золотодобывающей промышленности) прошли промышленные испытания несколько модификаций покусковых сепараторов (рис. 1.1). Лидирующие позиции здесь занимает красноярская фирма "РАДОС". Основная цель этих работ - дополнительное извлечение полезных компонентов из техногенных образований, для чего покусковые сепараторы стали использовать на старых отвалах, рудных складах и на дробильно-сортировочных узлах.

Характерны в этом отношении опыты по применению рентгенорадиометрических сепараторов для предконцентрации бедной руды, проведённые на ряде золоторудных приисков, а также на медных и медно-никелевых месторождениях (Урал, Камчатка, Кольский полуостров, Таймыр и др.).

Так, в целом положительные результаты промышленных испытаний сепараторов СРФ были достигнуты на Учалинском руднике. При этом рудо-разделительный узел был оборудован на промплощадке подземного рудника на базе существующего дробильного комплекса и включал в себя следующее оборудование:

- щековую дробилку СМД-111 с ёмкостью бункера 100 т и производительностью 3550 т/ч;
- грохот ГИТ-42 с диаметром отверстий 40 мм и производительностью 400 т/ч;



1 – агрегат крупного дробления; 2 – виброгрохот; 3, 4, 5, 6, 7, 8 – конвейеры; 9, 10 – приемные бункеры; 11 – сепараторы рентгенометрические СРФ2-300 (2 шт.); 12 – сепараторы рентгенометрические СРФ4-150 (4 шт.); 13 – операторская; 14 – эстакада; 15 – поворотный конвейер; 16 – агрегат управления

Рис. 1.1. Разделительный комплекс при рудном складе

- рентгенорадиометрический сепаратор СФР4-150 с ёмкостью приёмного бункера 7 т и производительностью 20 т/ч;
- конвейер;
- погрузочную машину.

Технологическая схема рудо-разделительного узла приведена на рис. 1.2. Согласно принятой технологии получаемый при этом отсев руды вместе с предконцентратом поступает на обогатительную фабрику, а отходы направляются на производство щебня. Сепарации подлежат значительно разубоженные медно-цинковые руды месторождения. Эти руды делятся на сплошные и вкрапленные, плотность которых составляет, соответственно, 3,8-4,3 т/м³ и 3,0-3,5 т/м³. При опытно-промышленных испытаниях исходная рудная масса крупностью менее 750 мм дробилась до фракций -150 мм, после чего производили грохочение мелких фракций (-40 мм), а надрешёточный продукт поступал на рентгенорадиометрическую сепарацию.

Разделение рудной массы планировали производить по суммарному порогу весовых содержаний меди и цинка равному 1%. В результате этих испытаний за 1,5 месяца было переработано 5,3 тыс. т рудной массы со средним содержанием в ней меди 0,87% и цинка 1,74%. Всего было отсеяно 1520 т мелочи со средним содержанием меди и цинка практически равным исходной рудной массе, выделено отходов 1880 т с содержанием в них меди 0,38% и цинка 0,45%.

В результате был получен предконцентрат в количестве 1910 т, в котором доли меди и цинка составили, соответственно, 1,38 и 3,17%. За счёт рентгенорадиометрической сепарации произошло выделение 49,7% некондиционной рудной массы, что привело к увеличению концентрации меди в товарном продукте в 1,6 и цинка в 1,82 раза.

Вместе с тем, отмечены и недостатки покускового сепарирования в условиях горнодобывающего предприятия, определяющие направления работ по дальнейшему совершенствованию технологии сепарации и адаптацию их в общую технологическую схему горного предприятия.

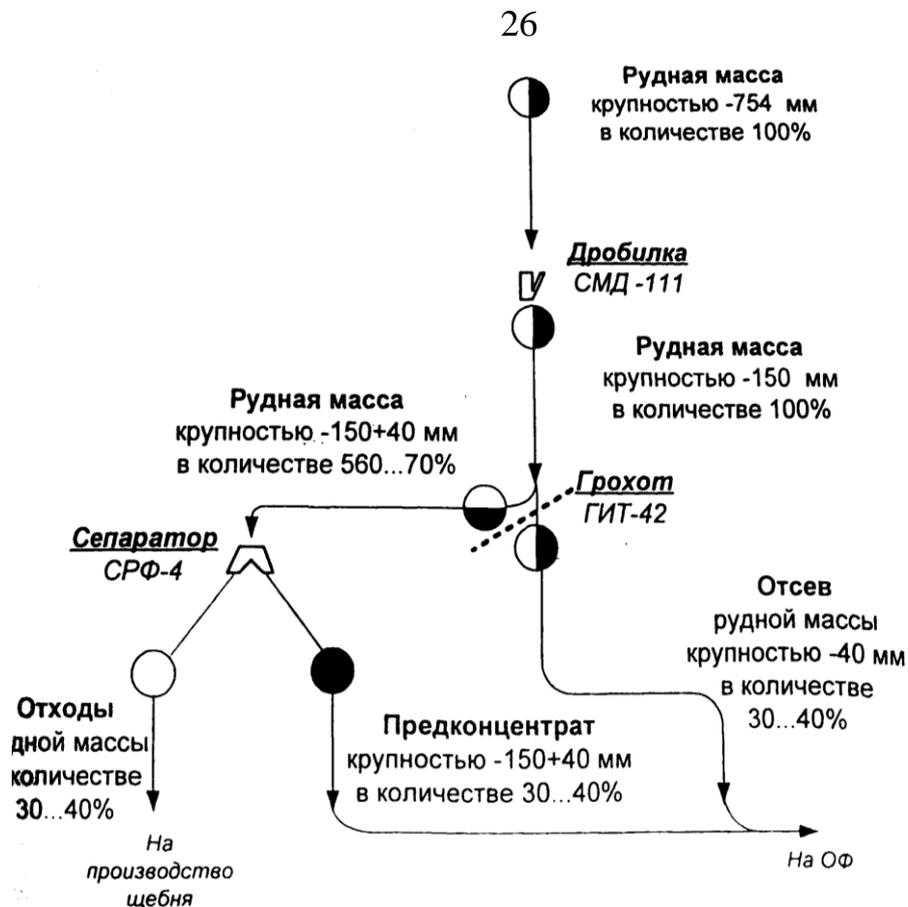


Рис. 1.2. Технологическая схема предконцентрации медно-цинковой руды на промплощадке Учалинского рудника

В работе [61] проведены экспериментальные исследования в подземных условиях Орловского рудника Жезкенского ГОКа, разрабатывающего колчеданно-полиметаллическое месторождение, сложенное несколькими перемежающимися рудными телами с различными типами руды.

Целью исследований было научное и инженерное обоснование рентгенометрической сортировки рудной массы на два типа руды – полиметаллическую и колчеданную, что необходимо из-за селективной технологии их обогащения. Всего в подземных условиях было переработано 36492 кг проб, в результате чего построены кривые контрастности и признан наиболее технологичным радиорезонансный способ радиометрической сепарации. При этом в процессе работы испытывалась как крупнопорционная сортировка (в объеме вагонетки), так и имитировалась покусковая сепарация.

В работах [7, 23, 56] изучалась эффективность сепарации различных типов оловянных руд, в том числе комплексных оловянно-вольфрамовых и в оловянно-полиметаллических. Значительная часть этих руд относится к числу высококонтрастных.

Высокая эффективность сепарации фотометрическим методом вольфрамо-молибденовых руд была показана в работе [73]. При этом установлено, что этим методом возможно выделение до 60% горных пород с весьма низким содержанием полезного компонента, увеличив его концентрацию в товарной руде в 1,6-3,0 раза.

Радиометрические методы в работе [73] показали свою эффективность и для различных типов вольфрамовых руд. При этом показана возможность применения также радиорезонансного и гамма-флуоресцентного методов.

Определённый интерес представляют работы [45, 46], проведённые с бедными медно-никелевыми рудами Мурманской области радиорезонансным методом. В этих рудах различают хорошо разделяемые брекчиевые и вкрапленные, которые сепарируются существенно хуже. В результате сепарации удалось выделить до 70% пустой породы, увеличив содержание в полученном предконцентрате в 2-3 раза.

В работе [10] подтверждено, что радиометрическими методами могут успешно сепарироваться свинцово-цинковые руды, поскольку в них показатель контрастности, обычно, достаточно высокий, составляя 0,9-1,3. Как результат этих свойств, высокая степень отделения некондиционных продуктов, которая достигает 60-75%. Основные положения этого исследования подтверждены, в частности, приведенными выше результатами производственных экспериментов на Учалинском руднике.

В работе [10] приведены данные о сепарации сульфидных полиметаллических руд. При этом было достигнуто удаление из исходной рудной массы 43-73% некондиционных отходов с суммарным содержанием цинка и свинца менее 0,1%, повысив тем самым концентрацию металлов в добытой руде в 1,7-3,4 раза.

В работе [56] была показана возможность эффективного использования радиометрии для сепарации руд редкометаллической группы (тантало-ниобиевых, редкоземельных, пегматитовых). Для этих руд использовались комбинированные схемы сепарации, включающие рентгенолюминесцентную и фотометрическую.

В ВИМС, являющимся одним из ведущих коллективов в данной области научных исследований проводились работы и по фотометрической сепарации бокситов, в результате которых было отделено 74-79% бедной рудной массы с высоким содержанием вредных компонентов (карбонатов и сульфидов). Большие работы по радиометрической сепарации, начиная с 80-х годов, проводятся в институте "Иргиредмет".

Одними из главных факторов, влияющих на эффективность процесса радиометрической сепарации являются крупность кусков, контрастность химических характеристик руды и засоряющих её горных пород, а также степень загрязнённости рудной массы.

О влиянии гранулометрического состава рудной массы или величины порции, по которым производится разделение рудной и породной частей рудной массы, говорилось выше. Вопросу изучения гранулометрического состава рудной массы и его влияния на результаты сепарации посвящены многие работы. При этом устанавливалось распределение фракций по крупности для различных типов руд и вмещающих горных пород при взрывной отбойке, корреляции фракционного состава и содержания полезных компонентов, а также степень сепарации в зависимости от 105 крупности кусков. Так, в [77] рассмотрены результаты исследований гранулометрического состава и контрастности медных и медно-цинковых руд для условий ряда месторождений. В работе [6] установлены зависимости выхода различных фракций по крупности от горнотехнических условий рудника.

Чаще рентгенорадиометрическую предконцентрацию для горнодобывающих предприятий рассматривают с двух крайних позиций: в

виде крупнопорционной сортировки или как покусковую сепарацию. Естественно, что степень разделения компонентов рудной массы с уменьшением параметров доз рудной массы при предконцентрации (объёма порций, размера кусков) возрастает, но соответственно увеличивается себестоимость и снижается производительность процесса по объёму переработанной рудной массы. Но, очевидно, не следует противопоставлять эти способы, поскольку оба они, имея свои области эффективного применения, взаимно дополняют один другого. При этом крупнопорционная сортировка, при наличии соответствующих условий, может предшествовать покусковой сепарации в общей технологической цепи. С другой стороны, необходимо заполнить промежуток между крупнопорционной и покусковой предконцентрацией эффективными технологиями с промежуточными характеристиками. Логично, что должны создаваться технологии со среднепорционной и мелкопорционной предконцентрацией. При этом под среднепорционной предконцентрацией понимается разделение рудной массы в объёме в несколько раз меньшем, чем ёмкость транспортных сосудов. Таким среднепорционным объёмом может быть ёмкость ковша ПДМ или доза выпуска руды из дучки, а мелкопорционным - количество рудной массы равное весу максимально крупного куска руды, допущенного к сепарации.

Но для создания таких технологий требуется соответствующее техническое обеспечение. Во-первых, необходимо оборудовать выемочно-погрузочные машины экспресс-анализаторами автоматического действия, датчики которых должны быть расположены в ковше, с выводом на дисплей в кабину машиниста данных о качестве рудной массы при каждом цикле черпания. Оснастив погрузочную технику такими приборами, можно существенно повысить результативность поковшовой предконцентрации.

Для мелкопорционного разделения рудной массы необходим новый тип радиометрических сепараторов, конструктивно принципиально отличающиеся от существующих покусковых. Коллективом учёных и конструкторов МГТУ была разработана оригинальная конструкция

сепаратора [24, 32] предназначенного для мелкопорционной предконцентрации рудной массы.

Подземная рудоразделительная установка (ПРУ) монтируется на самоходном шасси погрузочной машины типа ПНБ. Рудная масса через загрузочный бункер, поступая непрерывным потоком на специальный скребковый конвейер, распределяется на порции 25-100 кг. В процессе движения химический состав каждой из порций анализируется с помощью двух рентгеноспектральных аппаратов, данные которых обрабатываются на бортовом компьютере. После этого автоматически срабатывает задвижка, отделяя те порции рудной массы, которые не соответствуют установленным требованиям в части содержания металла.

Основные технические характеристики модульной установки ПРУ-М следующие:

– количество каналов, шт.	– 2;
– расчётная масса порции руды, кг	– 80;
– максимальный размер кусков, мм	– 600;
– скорость движения скребков, м/с	– 0,4-0,8;
– способ идентификации руды	– рентгенорадиометрический;
– порог чувствительности, %	– 0,2;
–производительность, т/ч	– 150-200.

На базе этой машины для условий джезказганских подземных рудников было проработано несколько вариантов технологии добычи с предконцентрацией рудной массы, обеспечивающих в условиях применения наиболее высокопроизводительной камерно-столбовой системы разработки, отделение до 40-60% некондиционных руд и пустых пород. Но, в связи с изменением в начале 90-х годов политической и хозяйственной обстановки в стране, этот сепаратор не был изготовлен.

В целом, из обзора практики применения существующих и разработки перспективных способов повышения концентрации металлов в рудной массе можно сделать выводы о том, что для решения проблемы повышения

концентрации металлов в руде, в принципе существуют методы, которые в основном используются в обогащении и в других перерабатывающих производствах. Однако, применяемые там технические средства оперативного получения информации о вещественном составе руд, а также конструкции сепараторных устройств не адаптированы к условиям горнодобывающего производства. Более того, простой перенос обогатительных технологий в рудник не сможет обеспечить её эффективное функционирование, поскольку одновременно требуется реконструкция технологической схемы горно-добычных работ. Поэтому для создания и расширения номенклатуры современных технологий добычи руд с формированием качества руды необходимо конструирование специализированной аппаратной базы, технические требования к которой должны формулироваться исходя из особенностей горнодобывающего производства. Новые горнодобывающие технологии с предконцентрацией рудной массы следует создавать для всего диапазона порций от по кусковой сепарации до крупно порционной. Конкретные технические средства и технологии предконцентрации а также месте их дислокации общий технологической схеме рудника следует устанавливать на основе получения конечных экономических результатов по всей цели производств «добыче обогащение»

1.3. Базовые исследования в области радиометрической сепарации

В основе радиометрических (ядерно-физических) технологий идентификации и разделения рудной массы по ее составу лежат физические и геофизические исследования взаимосвязи различных видов излучения с горными породами. При этом, в зависимости от длины волн λ , возможно использование гамма-излучения, нейтронного, бета-излучение, рентгеновского, ультрафиолетового, светового, инфракрасного или радиоволнового. Диапазон излучений составляет от $\lambda < 10^{-2}$ им (нейтронное

и гамма-излучение) до $\lambda = 10^5 \dots 10^{14}$ нм (радиоволновое). В промежутке между ними находятся бета-излучение, рентгеновское, ультрафиолетовое, видимое световое и инфракрасное. Характер взаимодействия излучений с веществами определяется видом и длиной волн излучения, а также видом элементарных частиц, участвующих во взаимодействии. В процессе взаимодействия излучения с химическим веществом, возможно их поглощение, рассеяние или отражение.

Физико-техническим основам радиометрического обогащения полезных ископаемых посвящены работы [6, 13, 44, 45, 55- 57, 65, 66, 69, 72].

В основе всех методов анализа вещественного состава лежат определённые взаимодействия различных видов излучения с горной породой и составляющими её химическими элементами. При этом в процессе взаимодействия может происходить поглощение излучения с созданием искусственной радиации в обычно нерадиоактивной среде, отражение или рассеяние излучения с выносом элементарных частиц из горной породы. Кроме того, облучение горных пород может вызывать различные фотоэффекты, флюоресценцию или люминесценцию отдельных минералов. Регистрируя эти вторичные проявления излучения и коррелируя их физические характеристики с вещественным составом, устанавливаются показатели качества руды в конкретных пробах.

1.4. Основные исследования в области усреднения руд в подземных рудниках

Исследования в области усреднения руд на горнодобывающих производствах изначально в большей мере проводились для условий открытой добычи, поскольку с этой проблемой раньше и масштабнее столкнулись в карьерах. Для подземных горных работ, разрабатывающих в основном более богатые запасы, вопрос стабилизации возникает обычно при значительном снижении качества добытых полезных ископаемых. К тому же,

в отличие от открытых горных работ, технология подземной добычи отличается меньшей ёмкостью добычного и рудничного транспортного оборудования, большим числом стадий производства с многократными перегрузками и широким использованием гравитационных процессов выпуска и перепуска руды, а также дробильных комплексов. Все это, в сочетании с относительно меньшими (по сравнению с карьерами) объёмами производства и более высоким содержанием металлов в рудной массе, раньше делали проблему стабилизации в рудниках относительно менее острой, чем при открытой добыче. Такое положение существенно меняется с истощением запасов богатых руд, ростом объёмов добычи и, соответственно, с переходом на более массовые подземные технологии и увеличением рабочих параметров добычного и транспортного оборудования.

Основные положения теории усреднения в подземных рудниках в определённой мере базируются на исследованиях, выполненных для условий карьеров, а также для обогатительных фабрик, металлургических и других перерабатывающих полезные ископаемые производств, где усреднение и шихтование входят в производственный процесс подготовки рудоминерального сырья к переработке. Вместе с тем, особенности технологий подземной добычи определяют необходимость выполнения специальных исследований, учитывающих особенности этих условий.

Одну из первых крупных публикаций по усреднению руд, в которой отражены эти особенности, представляет работа [22]. В ней даны начала общей теории усреднения и приведены её приложения для управления [рудопотоками, а также для складирования руды в штабелях и при [буферизации, а также в условиях стабилизации показателей качества рудной массы. На этой научной базе приводятся методологии планирования горных работ, а также обоснования других организационных и технологических решений, в том числе и для подземной добычи руд.

Наиболее значительный вклад в развитие теории и совершенствование технологий усреднения полезных ископаемых внёс автор и соавтор большого

числа исследований и публикаций [8, 9], в которых отражены актуальные вопросы рассматриваемой проблемы.

В работе [28] был наиболее широко отражён мировой опыт эксплуатации подземных усреднительных комплексов, приведены обоснования параметров подземных рудников в связи с введением в них процессов стабилизации руды, представлены методологии формирования стабильного состава рудной массы при подземной добыче и результаты теоретических и производственных исследований на крупнейших отечественных рудниках.

Из научных трудов по стабилизации качества руд в подземных условиях следует также отметить работы, выполнявшиеся в Институте горного дела Сибирского отделения РАН (Ю.Н. Ермолин, В.В. Рожков, К.А. Рыженков и др.), приведшие к созданию "Методики оптимизации систем усреднения руд цветных металлов". Эта работа включает в себя обоснование содержания собственно оптимизационные расчёты систем.

В Институте горного дела Казахстана (Е.В. Жиганов, Е.А. Жовтис, В.Д. Ким, М.А. Сайзуллин и др.) в сотрудничестве с ИПКОН РАН (Д.Р. Каплунов и др.) разработаны методические положения по стабилизации качества руд при подземной их добыче.

Эта работа включает в себя ряд важнейших, для обоснования эффективно действующей системы усреднения руд. В том числе, положения в части дифференциации запасов разнокачественных руд, установления рационального порядка развития горных работ, выбора вариантов технологии добычных работ с учётом усреднения руды, оценки стабилизационной способности систем разработки, прогнозирования показателей качества руды в конечном рудопотоке, количественная оценка колебаний показателей качества руды и др.

Вместе с тем, проблема обеспечения стабильного состава рудной массы при подземной добыче далека ещё до полного завершения. И хотя её решение для рудников технологически несколько проще, чем для карьеров,

тем не менее, она усложняется неоднозначностью способов осуществления. Как правило, здесь требуются более тонкие решения, чем в условиях открытых горных работ.

К тому же, для кардинального решения проблемы качества и стабильности продукции горнодобывающих предприятий, наряду с экономическими условиями, необходим также определённый уровень социально-экологического сознания общества и адекватные правовые действия государства, поскольку по большому счёту эффективность любого производства не может оцениваться только экономическими результатами производств. Уровень их негативных последствий на состояние природной среды должны быть не только провозглашаемыми, но и реально работающими критериями оценки их результатов. При этом надо понимать, что горнодобывающее производство не только непосредственно наносит серьёзный ущерб природе, но и в значительной мере предопределяет негативные воздействия на окружающую среду при последующей переработке руды на обогатительных фабриках и металлургических заводах. При этом от качества рудного сырья во многом зависят количество и степень вредности их отходов. Сами подземные горные работы, как правило, наносят существенно меньший ущерб окружающей природной среде, чем перерабатывающие заводы и даже карьеры. По сравнению с карьерами, суммарные площади земной поверхности, нарушаемые подземным рудником, в десятки раз меньше. К тому же, и степень стабильности состава, добытой в шахтах руды, выше. В современных условиях есть реальная возможность улучшения интегральных (т.е. с совокупным учётом смежных производств) экономических и экологических результатов подземного способа добычи полезных ископаемых.

Основные выводы

1. Известные способы увеличения содержания полезных компонентов при добычных работах за счёт селективной отбойки руды, а также призабойной породотборки в условиях индустриализации горнодобывающего производства стали, практически, редко применяемыми. При маломеханизированном труде такими способами удавалось снижать трудоемкость, работ, а, соответственно, и затраты на добычу и переработку руды, то в современных условиях такая технология добычи в традиционном виде вступает в противоречие с высокомеханизированным производством, становясь практически неприемлемой по причине значительного недоиспользования мощности и рабочего ресурса дорогостоящего оборудования.

2. Одним из перспективных способов повышения содержания полезных компонентов в добытой руде является ее предконцентрация, базирующаяся на использовании рентгенометрической аппаратуры оперативного анализа химического состава минеральных сред, а также технических средств разделения кондиционной и некондиционной частей рудной массы. Предконцентрацию всё шире используют в практике обогатительных фабрик для предварительного обогащения полезных ископаемых или для разделения их по сортам, обогащаемым в дальнейшем по разным технологическим схемам. С применением предконцентрации в рудниках, в принципе, можно обеспечить повышение содержания полезных компонентов в добытой руде вдвое при сокращении объёмов добычи до 50%.

3. Главными факторами, влияющими на глубину процесса сепарации рудной массы являются крупность её кусков (порций), контрастность физических характеристик (коррелируемых с содержанием металла) руды и боковых горных пород, а также загрязнённость поверхности кусков.

4. Для создания внутрирудничной технологии предконцентрации руды необходимо наличие технических средств, способных достаточно

оперативно и точно определять вещественный состав руд, которые должны быть адаптированы к условиям рудника, и способов селекции, технологичных для горнодобывающего производства.

5. Известен ряд исследований и экспериментов по созданию на некоторых горнодобывающих предприятиях технологий добычи с предконцентрацией рудной массы на поверхности и, реже, в подземных горных выработках. Однако, в основном, эти работы не вышли за рамки экспериментальных, основными причинами чего были следующие:

- несовершенство применявшихся в прошлом средств анализа качества;

- недостаточно глубокая проработка технологии с недостаточным учётом особенностей и условий горнодобывающего производства;

- попытка решить проблему за счёт отдельных рационализации, у исполнителей работ от производства не было соответствующей мотивации для перехода на новую технологию работ.

6. Наряду с повышением концентрации полезных компонентов в добытой рудной массе, объективно существует и проблема обеспечения стабильности состава рудного сырья, которая в ряде случаев может оказаться даже более экономически значимой. Обе эти проблемы в значительной своей части могут успешно решаться в технологической схеме рудника. При этом в подземном руднике имеются объективные возможности для существенного снижения, в первую очередь, низкочастотных колебаний содержания полезных компонентов в руде. Весьма благоприятно для этого то обстоятельство, что в подземных технологиях добычи руд в значительной мере присутствуют неоднократные перемещения рудной массы (в том числе, под действием взрыва и сил гравитации), а также многократные её перегрузки, что создает благоприятные условия для её перемешивания.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РУДНИЧНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ РУД

2.1. Систематизация способов управления качеством руд при подземной добыче

Качество продукции горнорудного производства характеризуется, как это уже отмечалось, многими показателями, в том числе: содержанием полезных и вредных компонентов, минеральным составом, степенью стабильности вещественного и минерального состава, крупностью кусков рудной массы, механической прочностью, степенью загрязнённости рудной массы, её влажностью и другими показателями, специфичными для конкретных условий. Из этого перечня, как правило, важнейшими показателями качества являются вещественный и минералогический составы и уровень стабильности этих составов.

Требования потребителей к качеству рудо-минерального сырья сводятся, в общем, к необходимости обеспечения:

- определённого уровня содержания основных полезных и вредных компонентов, т.е. чтобы средние значения содержаний компонентов в руде за определённые календарные сроки максимально соответствовали регламентированному (согласованному) уровню ($\bar{a}_j \rightarrow a_j^p$);

- минимизации отклонений содержаний компонентов в рудо потоке от среднего значения за календарные сроки и между отдельными партиями руды, т.е. $\bar{a}_j - a_{ij} = \Delta a_{ij} \rightarrow \min$;

- максимальной однородности состава рудной массы внутри каждой партии или за отрезки времени. За критерий неоднородности применяют показатель изменчивости (например, среднеквадратическое отклонение) в более мелких объёмах руды, чем те, с которыми имеют дело при обеспечении двух предыдущих требований, т.е. $\sigma \rightarrow 0$;

- определённой кусковатости и влажности рудной массы;
- исключения попадания в рудную массу металлических предметов, дерева, закладочного материала и др.

С одной стороны все эти требования разнохарактерные, имеющие свои критерии оценок и методы достижения цели. Но с другой стороны, многие из них взаимосвязаны. Тесно взаимосвязаны между собой первые три требования, а также усматривается связь между четвертым и пятым требованиями.

Первые три позиции обеспечиваются путём решения триединой задачи, в основе которой лежат определённые количественно-качественные зависимости между объёмами и качеством руды в этих объёмах.

Физическая сущность процесса формирования среднего уровня содержания металла в рудной массе практически та же, что и стабилизация этого показателя между соседними объёмами. В свою очередь, усреднение состава рудной массы есть ни что иное, как тот же процесс выравнивания показателя изменчивости, осуществляемый путем смешивания существенно меньших объёмов руды. При этом, чем меньшие порции рудной массы участвуют в смешивании, тем глубже усреднение её состава.

Таким образом, при существовании определённых различий в содержании первых трёх требований к качеству рудной массы, практические действия по их обеспечению сводятся в основном к объединению или наоборот разъединению объёмов рудной массы разного качественного состава.

Рассмотрим это положение на нижеследующих примерах. На подходе к бункеру околоствольного двора находятся шесть составов с рудой общим количеством 300 т при среднем содержании в них металла $\bar{a} = 1,77\%$.

Количества металла в вагонах составляет $M_i = 0.01a_iQ$, где a_i и Q_i - соответственно, содержание металла и количества руды в составах.

По мере поступления руды в бункер (в соответствии с нумерацией составов), происходит изменение среднего содержания металла в руде, находящейся в бункере. Динамика этих изменений рассчитана по формуле $\bar{a} = \sum a_i Q_i / \sum Q_i$. По мере загрузки бункера разнокачественной рудой, происходит трансформация среднего содержания металла в суммарном объёме — вначале возрастание, а затем (с 4-го состава) снижение. Следовательно, подбирая определённые сочетания объёмов (составов, вагонов) с рудной массой различного качества, представляется возможным управлять формированием среднего качества в результирующем рудопотоке. В другом примере рассмотрим рудное тело, в котором нарезано определённое количество эксплуатационных блоков, различающихся по запасам и содержанию полезных компонентов. Естественно, что в зависимости от количества блоков в разработке и порядка выемки их запасов, будет меняться среднее содержание полезных компонентов и изменчивость показателя качества в рудопотоке. Так, при работе четырьмя блоками с последовательным порядком выемки запасов, содержание металла в руде (без учёта разубоживания) будет меняться в пределах 0,6-4,6, т.е. с размахом колебания $R=4,0$. Снижение колебаний возможно за счёт одновременной работы двумя или тремя блоками. При работе парными блоками возможны их сочетания.

По сравнению с последовательной выемкой заметно снизились размах колебаний ($L=2,35$) и разницы между текущими и средним содержаниями металла. При этом происходит дальнейшее снижение отклонений текущих показателей качества руды, а также сокращение размаха колебаний до $R=1,33$.

Таким образом, на данных примерах показано, что за счёт объединения или наоборот изъятия порций разнокачественной руды можно обеспечивать не только повышение среднего уровня содержания полезных компонентов, но и управлять стабильностью состава рудной массы.

Усреднение, представляющее собой процесс физического смешивания в некотором объёме рудной массы, подчиняется тем же количественно-качественным зависимостям, но с гораздо меньшими объёмами (порциями) смешивания. Постепенное уменьшение этих порций одно из главных условий осуществления эффективного усреднения массы. Предельно возможное усреднение, которое способен обеспечить рудник, лимитируется, таким образом, кусковатостью рудной массы: чем меньше кондиционный кусок руды, тем выше возможности рудника в части усреднения качества своей продукции. Наиболее глубокий процесс усреднения достигается на обогатительной фабрике, где происходит измельчение рудной массы до наиболее мелкодисперсных частиц и создаётся физически активная (пульпообразная) среда.

Таким образом, основой управления качеством руды являются количественно-качественные зависимости составных элементов рудной массы, познавая и рационально используя которые можно направлять формирование показателей качества. Этот процесс может производиться, начиная с текущего планирования горных работ и продолжаться при непосредственном осуществлении добычных работ по всей горно-технологической цепи рудника, вплоть до отправки руды потребителю.

Операции смешивания или разделения объёмов (порций) рудной массы определяют принципы управления качеством, которые могут (быть):

- разделительные (сепарационные), т.е. основанные на изъятии некоторых порций из общей рудной массы или части её составных элементов (богатой руды, пустых пород, руды другого сорта и др.);

- смесительные (усреднительные), т.е. такие, при которых происходит объединение объёмов разнокачественной рудной массы, осуществляемое определёнными порциями. В первом случае преследуются такие цели управления как:

- повышение концентрации полезных компонентов в добытой руде или

– разделение общей рудной массы на отдельные сорта. Смесительные (усреднительные) принципы управления могут пользоваться для целей:

– снижения амплитуды колебания показателей качества руды или повышения однородности её состава.

Конкретные действия (способы) по управлению качеством руды в подземном руднике могут быть весьма разнообразными. Они могут быть в виде производственных процессов и операций или - организационных и экономических действий.

В первом случае создаются, дополнительные к существующим технологические комплексы (предконцентрации, сортировки, усреднения и пр.). Во втором – в рамках существующей технологической схемы осуществляются организационно-управленческие мероприятия по обеспечению определённого порядка выемки (выпуска) руды, её доставки, транспорта, а также загрузки и выгрузки аккумулялирующих (смесительных) ёмкостей, а также дополнительная регламентация имеющихся производственных операций.

Экономическое управление качеством продукции рудников это - особое направление деятельности, основанное на изучении конъюнктуры рынка и возможностей горнодобывающего производства с разработкой и осуществлением соответствующей финансово-экономической политики предприятия.

По существу, на качество добытой руды в той или иной мере может оказывать влияние множество факторов. Проявляются они как на стадии вхождения руды в массиве, так и - рудной массы. Отсюда вытекает соответствующая градация способов управления качеством руды, выполняемых в очистном пространстве или за его пределами, в том числе в витальных горных выработках и в технологическом комплексе на поверхности рудника.

Способы управления, осуществляемые в рудном массиве, в значительной мере связаны с последующим разубоживанием руды. Фактор

засорения руды боковыми породами существенно влияет на результаты, как разделительных, так и смесительных управляющих действий. Например, увеличение разубоживания не только снижает содержание металлов, но и повышает колебания качества, а также неоднородность состава рудной массы.

Управляющие воздействия на качество руды отбитой от массива, как правило, составляют вторую стадию формирования качества, для которой характерны более глубокие технологические результаты. В этой стадии злее кардинальным способом повышения качества рудной массы является вынесение части обогащительных процессов в подземное пространство рудника. В основном это процессы рудо подготовки с дроблением и измельчением, а также первичные (в основном сухие) виды сепарации. Но в определённых условиях может оказаться целесообразным смещение в подземном пространстве и цеха тяжёлой суспензии.

В этой связи более оправдано создание в подземном руднике и его поверхности предконцентрации и сортировки рудной массы, а также усреднительных комплексов должны функционировать в ее управляющей системе. При этом стабилизации качества рудной массы способствовать и разделительные процессы. Например, обособление рудопотоков с разнокачественной рудной массы может существенно снизить относительную изменчивость показателя качества в каждом из этих рудопотоков.

Аналогично и селективная отбойка руды (приводящая к снижению разубоживания) обеспечивает более стабильный состав рудной массы. Кстати, это ещё одно подтверждение общности физической сущности разделительных и смесительных процессов. Эта общность подтверждается и родственностью их критериев оценки (соответственно, контрастности и среднеквадратического отклонения) которые, будучи статическими характеристиками, по сути своей отражают разную степень разброса показателей относительно среднего уровня

Кроме обеспечения определённого минерального и вещественного состава, стабильности и однородности, к качеству добытой рудной массы предъявляются и требования в части крупности кусков, влажности и к недопущения попадания в неё металлических и других предметов, а также закладочного материала. Эти требования со стороны потребителей руды естественны.

Технологически рудники, в принципе, способны выполнить все эти требования. Причём, как показали исследования на ряде горно-обогатительных комбинатов, горнодобывающие производства могут при буровзрывной отбойке обеспечить, кроме прочего, и эффективное разупрочнение кусков рудной массы, создавая в них дополнительные микротрещины. Основные средства такого разупрочнения горных пород это разумное увеличение удельного расхода ВВ и использование специальных схем и приёмов взрывной отбойки. Эти мероприятия могут при обогащении существенно снизить энергоёмкость механического дробления и измельчения, создавая заметную экономию средств на этих наиболее трудоёмких производственных процессах обогащения и в целом по совокупности смежных производств.

Выполнение требований обогатительных фабрик в части предельной влажности, а также недопущения попадания в руду посторонних (особенно металлических) предметов и закладки, может быть обеспечено за счёт повышения культуры производства горных работ, реконструкцией складов руды с использованием грохотов, металлоискателей, других средств, а также тем ужесточения контроля.

Но для горнодобывающих предприятий выполнение всех этих запросов обогатительных фабрик, сопряжено с определённым усложнением производства и с увеличением материальных и трудовых затрат: Усовершенствованием и удорожанием технологии отбойки, введением Исполнительного контроля за составом рудной массой, а также организацией

мероприятий по приведению своей продукции в соответствие с этими позициями технических условий.

Очевидно, что целесообразность включения в ТУ на руду всех этих требований должно быть подкреплено соответствующим технико-экономическими расчетами, обосновывающими увеличение затрат в сфере отбойки и в целом по технологической схеме добычи и на поверхностном комплексе.

Как следствие сказанного, предлагается наиболее полная систематизация способов управления качеством руд при подземной добыче, которая включает в себя принципы, цели и охватывает основные способы управления. Данная систематизация может развиваться при появлении новых способов формирования качества продукции рудников, без крушения общей структуры данной систематизации.

В рамках предлагаемой структуры создаётся возможность системного решения задач управления качеством руды в процессе её подземной добычи. На первой стадии управления выполняется планирование горных работ с обеспечением среднего регламентированного содержания металла в годовом, квартальных и месячных объёмах добычи. При этом устанавливаются конкретные объекты разработки и объёмы выемки с определением основных технических и технологических средств горных работ и, соответственно, способ управления качеством на этой стадии. В последующем, при оперативном планировании и управлении горно-добычных работ, а также ; при их осуществлении, одновременно с формированием требуемого Абсолютного уровня качества руды, минимизируются отклонения текущих показателей от средней регламентированной величины. Для повышения концентрации металлов в рудной массе и разделения её по сортам руды, Используются современные средства предконцентрации и рудо сортировки. На последней стадии управления качеством добычи в руднике обеспечивается внутренняя однородность состава добытой рудной массы, главным образом, в усредняющих средствах в горных выработках или на

поверхности рудника, а также осуществляется выходной контроль по всем показателям качества руды, отправляемой потребителям.

2.2. Показатели предконцентрации рудной массы

При добыче полезных ископаемых их качественные характеристики, как правило, ухудшаются по сравнению с природными, степень этого ухудшения выражается коэффициентами потерь и разубоживания.

С появлением технологий добычи, при которых содержания полезных компонентов в добытой рудной массе могут быть повышены по сравнению с содержанием в извлекаемых балансовых запасах, появилась необходимость введения, наряду с коэффициентами потерь и разубоживания ряда новых показателей [48].

К их числу относятся следующие:

– коэффициент концентрации ψ , характеризующий относительное увеличение содержания полезного компонента в рудной массе при разделительных процессах:

$$\psi = \frac{a_{np}}{a_{pm}}, \quad (2.1)$$

где a_{np} и a_{pm} – соответственно, содержание полезного компонента в продукции разделительного процесса (например, в предконцентрате) и в исходной рудной массе.

– коэффициент прироста качества руды δ , характеризующий относительный прирост содержания полезного компонента в рудной массе разделительных процессах

$$\delta = (a_{np} - a_{pu}) / a_{pm} \quad (2.2)$$

Оба эти показателя однозначно взаимосвязаны:

$$\psi = 1 + \delta \quad (2.3)$$

Показатель потерь полезного компонента в отходах разделительного процесса Q , характеризующий относительные потери полезного компонента при разделительном процессе

$$\Omega = M_{om} / M_{pm} \quad (2.4)$$

где M_{om} и M_{pm} - соответственно, количество полезного компонента (металла) в отходах разделительного процесса и в исходной рудной массе.

Извлечение полезного компонента при разделительном процессе

$$\varepsilon_{np} = M_{np} / M_{pm} \quad (2.5)$$

где M_{np} - количество полезного компонента в продукции разделительного процесса.

Показатели Ω и ε_{np} также взаимосвязаны:

$$\Omega + \varepsilon_{np} = 1. \quad (2.6)$$

Таким образом, для оценки технологической эффективности разделительного процесса достаточно определить два основных показателя Ψ и Ω , так как два других (δ и ε_{np}) их дублируют.

Величины показателей Ψ и Ω предопределяются значениями выхода отходов разделительного процесса γ_{om} и относительным содержанием полезного компонента в отходах $\Delta = a_{om} / a_{pm}$, которые можно установить за мерами по результатам этого процесса,

Зависимости Ψ и Ω от γ_{om} и Δ определяются на основе баланса количества соответствующих продуктов до и после разделительного ха и количества полезных компонентов в этих продуктах.

Если принять, что Q_{pm} , Q_{np} и Q_{om} - есть, соответственно, количество исходной рудной массы, продукции и отходов разделительного процесса, γ_{np} , γ_{om} - выходы продукции и отходов, то баланс продуктов

разделительного процесса составляет:

$$Q_{pm} = Q_{np} + Q_{om} \quad (2.7)$$

или

$$\gamma_{np} + \gamma_{om} = 1 \quad (2.8)$$

При этом выходы продукции и отходов разделительного процесса составят:

$$\gamma_{np} = Q_{np} / Q_{pm} \quad \text{и} \quad \gamma_{om} = Q_{om} / Q_{pm} \quad (2.9)$$

Баланс полезного компонента (металла):

$$M_{pm} = M_{np} + M_{om} \quad (2.10)$$

Здесь M_{pm}, M_{np}, M_{om} - соответственно, количество полезного компонента (металла) в исходной руде, продукции и отходах делительного процесса.

Следовательно,

$$0,01a_{pm} \cdot Q_{pm} = 0,01a_{np} \cdot Q_{np} + 0,01a_{om} \cdot Q_{om} \quad (2.11)$$

Отсюда, с учётом формулы (2.9) следует, что

$$a_{pm} = a_{np}\gamma_{np} + a_{om}\gamma_{om} \quad (2.12)$$

Решая это уравнение относительно a_{pm} с учётом равенства (3.8) имеем:

$$a_{np} a_{pm} / (1 - \gamma_{om}) - a_{om}\gamma_{om} / (1 - \gamma_{om}) \quad (2.13)$$

Разделив обе части равенства (2.12) на a_{pm} , получим выражение для расчёта значений коэффициента Ψ в зависимости от величин γ_{np} и Δ :

$$\Psi = 1 / (1 - \gamma_{om}) - \gamma_{om}\Delta / (1 - \gamma_{om}) \quad (2.14)$$

Потери полезного компонента в отходах разделительного процесса в соответствии с формулой (2.5) составят:

$$\Omega = 0.01a_{om}Q_{om} / 0.01a_{pm}Q_{pm} = \Delta\gamma_{om} \quad (2.15)$$

а извлечение полезного компонента в продукцию разделительного процесса будет иметь вид:

$$\varepsilon_{np} = 1 - \Delta \cdot \gamma_{om} . \quad (2.16)$$

2.3. Методика моделирования процесса предконцентрации рудной массы

Моделирование процесса предконцентрации состава рудной массы базируется на количественно-качественных взаимосвязях между массовыми и руды (рудной массы), имеющих разный уровень показателя качества.

Примем следующие обозначения параметров рудной массы:

Q - общее количество рудной массы, которую предполагается подвергнуть предконцентрации, т;

\bar{a} - среднее содержание в ней полезных компонентов (металла)%

M - количество (масса) металла в руде, т;

n - количество долей (групп) рудной массы с разным уровнем содержания металла, ед.;

$Q_1, Q_2, \dots, Q_i \dots Q_n$ массовые доли руды разного качества, т;

$\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_i \dots \gamma_n$ процентный выход соответствующих долей рудной массы, %;

$a_1, a_2, \dots, a_i \dots a_n$ - средние значения содержания полезных компонентов в долях (группах) рудной массы, %;

$M_1, M_2, \dots, M_i, \dots, M_n$ - количество (масса) полезных компонентов (группах) в долях руды, имеющих разное качество, %;

$\gamma_{M1}, \gamma_{M2}, \dots, \gamma_{Mi}, \dots, \gamma_{Mn}$ выход металла в долях рудной массы разного качества, %.

Между этими показателями существуют следующие основные зависимости

$$Q = \sum_{i=1}^n Q_i, \quad (2.17)$$

$$\bar{a} = \sum_{i=1}^n a_i Q_i / \sum_{i=1}^n Q_i \% \text{ при } a_i = (a_{\max} - a_{\min}) / 2, \quad (2.18)$$

$$M = 0,01 \cdot \bar{a} \cdot Q = 0,01 \sum_{i=1}^n a_i \cdot Q_i = \sum_{i=1}^n M_i, \quad (2.19)$$

$$\sum_{i=1}^n \gamma_i = 100\%, \quad (2.20)$$

$$\sum_{i=1}^n \gamma_{M_i} = 100\%, \quad (2.21)$$

$$\gamma_{M_i} = 100 M_i / M. \quad (2.22)$$

Согласно этим зависимостям готовятся исходные данные для непосредственного моделирования, т.е. для имитирования процесса предконцентрации. Начинается подготовка исходных данных с измерений и опробования рудной массы, изучаемой на предмет её предконцентрации.

По результатам этого изучения всё количество рудной массы классифицируется несколько (n) долей, различающихся по уровню показателя качества. Внутри каждой доли устанавливается среднее содержание полезного компонента a_i (как разница между максимальным и минимальным значения) и производится ранжирование долей по уровню среднего содержания.

При этом первая доля состоит из наиболее низкокачественной руды, а последняя (n -ая) из самой богатой.

Для моделирования, наряду с абсолютным количеством металла в рудной массе (M , M_i). Целесообразно использовать также и приведенные значения:

$$M_{np} = \sum_{i=1}^n a_i \cdot \gamma_i \quad \text{и} \quad M_{np_i} = a_i \cdot \gamma_i. \quad (2.23)$$

Использование этого показателя позволяет оперировать не только конкретными, но и обобщёнными характеристиками.

При использовании приведенных значений массы металла моделирование несколько упрощается. Естественно, что конечные результаты моделирования при использовании в счётах, как абсолютной массы металла, так и приведенного её значения должны быть идентичными и адекватными натуре.

Между абсолютным и приведенным значениями массы металла имеется следующая взаимосвязь:

$$\gamma_M = 100 \cdot M_i / M = 100 \cdot M_{npu} / M_{np} = 100 \cdot a_i \cdot \gamma_i / \sum_{i=1}^n a_i \cdot \gamma_i,$$

откуда

$$M = 100M_i / \gamma_i. \quad (2.24)$$

Моделирование процесса пред концентрации заключается в установлении множества изменяющихся характеристик рудной массы прильном отделении от неё долей с худшими показателями. В целом модель представляет собой систему зависимостей, представленных в аналитическом и графическом видах, вместе с алгоритмом расчётов, реализуемых на компьютере. Всего моделируется (1, 2, ...j,..m) в отделения от общего объёма рудной массы долей с более низким ем показателя качества. При этом номера этапов непосредственного моделирования процесса пред концентрации совпадают с номерами долей массы, т.е. $i=j$.

Основными результатами каждого этапа моделирования являются следующие показатели:

- количество предконцентрата, получаемого на каждом этапе Q_{nk}^j ;
- выход предконцентрата γ_{nk}^j ;
- среднее содержание полезного компонента в предконцентрате;
- количество (масса) полезного компонента в предконцентрате \bar{a}_{nk}^{-j} ;

- выход полезного компонента в концентрат M_{nk}^j ;
- выход полезного компонента в отходы пред концентрации γ_{Mnk}^j ;
- количество полезного компонента в отходах предконцентрации M_{om}^j ;
- среднее содержание полезного компонента в отходах \bar{a}_{om}^j .

Расчет показателей предконцентрации рудной массы выполняется согласно следующим зависимостям:

$$Q_{nk}^i = \sum_{i=1}^n Q_i - \sum_{i=1}^{i=j} Q_i , \quad (2.25)$$

$$\gamma_{nk}^j = 100 - \sum_{i=1}^{i=j} \gamma_i , \quad (2.26)$$

$$\bar{a}_{nk}^j = \left(\sum_{i=1}^n a_i Q_i - \sum_{i=1}^{i=j} a_i Q_i \right) / Q - \sum_{i=1}^{i=j} Q_i , \quad (2.27)$$

где $Q = \sum_{i=1}^n Q_i$,

$$M_{nk}^j = M - \sum_{i=1}^{i=j} M_i , \quad (2.28)$$

$$\gamma_{Mnk}^j = 100 - \sum_{i=1}^{i=j} \gamma_{Mnki} , \quad (2.29)$$

$$M_{om}^j = M - M_{nk}^j = M + \sum_{i=1}^{i=j} M_i = \sum_{i=1}^{i=j} M_i , \quad (2.30)$$

$$\gamma_{Mom}^j = 100 - \gamma_{Mnk}^j = \sum_{i=1}^{i=j} \gamma_{Mnki} , \quad (2.31)$$

$$\bar{a}_{om}^{-j} = \left(\sum_{i=1}^n a_i Q_i - \sum_{i=j}^n a_i Q_i \right) / \left(\sum_{i=1}^n Q_i - \sum_{i=j}^n Q_i \right). \quad (2.32)$$

Перед расчётами показателей пред концентрации исходные данные о рудной массе удобно представить в виде графика, по горизонтали которого отмечаются t отрезков прямой одинаковой длины, отражающих этапы моделирования (от 1 до t), а по вертикальной шкале откладывается выход долей рудной массы γ_i (рис. 2.1). По-существу график имеет форму двухмерной диаграммы, в которую можно дополнительно внести и другие необходимые данные о рудной массе и её долях. По вертикали также отображаются средние содержания полезного компонента в долях рудной массы a_i .

Порядок расчётов при моделировании – от $j=1$ до $j=m$. При этом этап $j=0$ соответствует исходным условиям моделирования. В них, кроме значений показателей отмеченных выше, введены также:

- коэффициент концентрации рудной массы Ψ ;
- коэффициент прироста качества δ ;
- извлечение полезного компонента в пред концентрат $\mathcal{E}_{нк}$;
- потери полезного компонента в отходах пред концентрации Ω
- относительное содержание полезного компонента в отходах Δ .

Отметим, что выход металла γ_{Mnk} и извлечение металла в пред концентрат $\mathcal{E}_{нк}$, по существу, являются аналогичными показателями, отличающимися лишь своей размерностью. Однако, в общем, использование обоих показателей в моделировании процесса предконцентрации оправдано тем, что рассчитываются эти характеристики по разным формулам и поэтому степень, совпадения их величин позволяет обнаружить ошибки в расчётах.

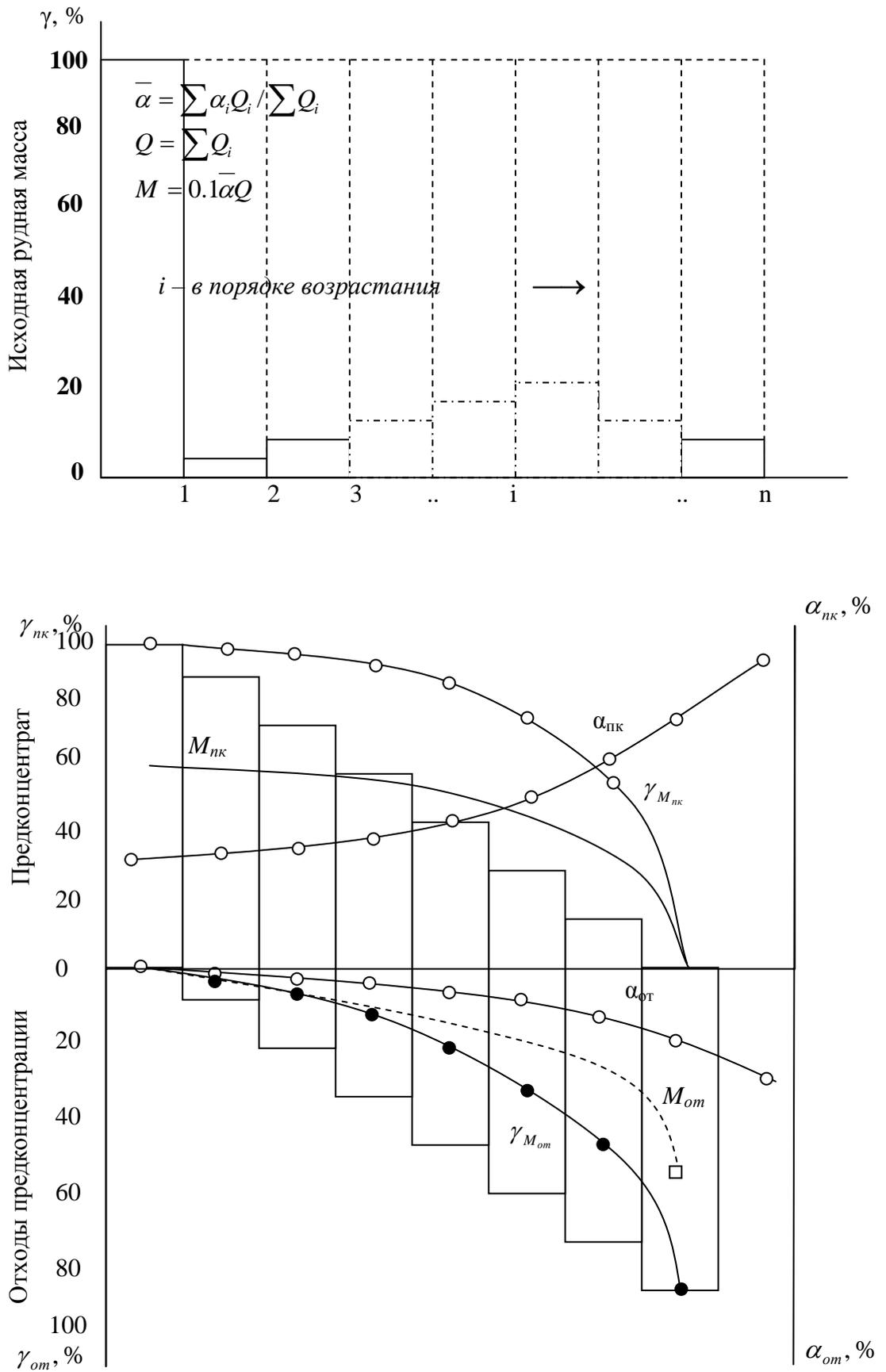


Рис. 2.1. Графический образ модели процесса предконцентрации

То же самое можно отметить и в отношении показателей выхода металла в отходы $\gamma_{\text{Мот}}$ и потерь металла Ω .

На рис. 2.1 результаты этих расчетов воспроизводятся в средней и нижней частях графика

Пример: из рудной массы в количестве 1,9 т, которую предполагается подвергнуть пред концентрации, взяты пробы. В результате анализа состава этих проб установлено распределение содержания металла по отдельным долям общего количества рудной массы, рассчитана общая масса металла в руде и его выход в каждую долю.

Исходные данные для моделирования процесса предконцентрации. Эти данные более наглядно можно представить в виде диаграммы (см. верхнюю часть рис. 2.2).

Далее производится процесс собственно моделирования. Поэтапные результаты расчёта параметров предконцентрации, выполняемые согласно выражениям (2.9), (2.1, б), отображаются в средней и нижней частях этого графика. В средней его части приводятся поэтапные изменения показателей рудной массы при имитации реального процесса предконцентрации, выход предконцентрата, его качество, количество металла и его выход в пред концентрат. Соответственно, в нижней части графика отмечаются характеристики отходов предконцентрации, их процентный выход, содержание и количество в них металла. Все эти показатели отражаются, а динамике и в комплексе они характеризуют закономерности изменения технологии ческой эффективности процесса предконцентрации для конкретных условий.

В целом по результатам моделирования, по данному примеру, можно сделать следующие основные выводы:

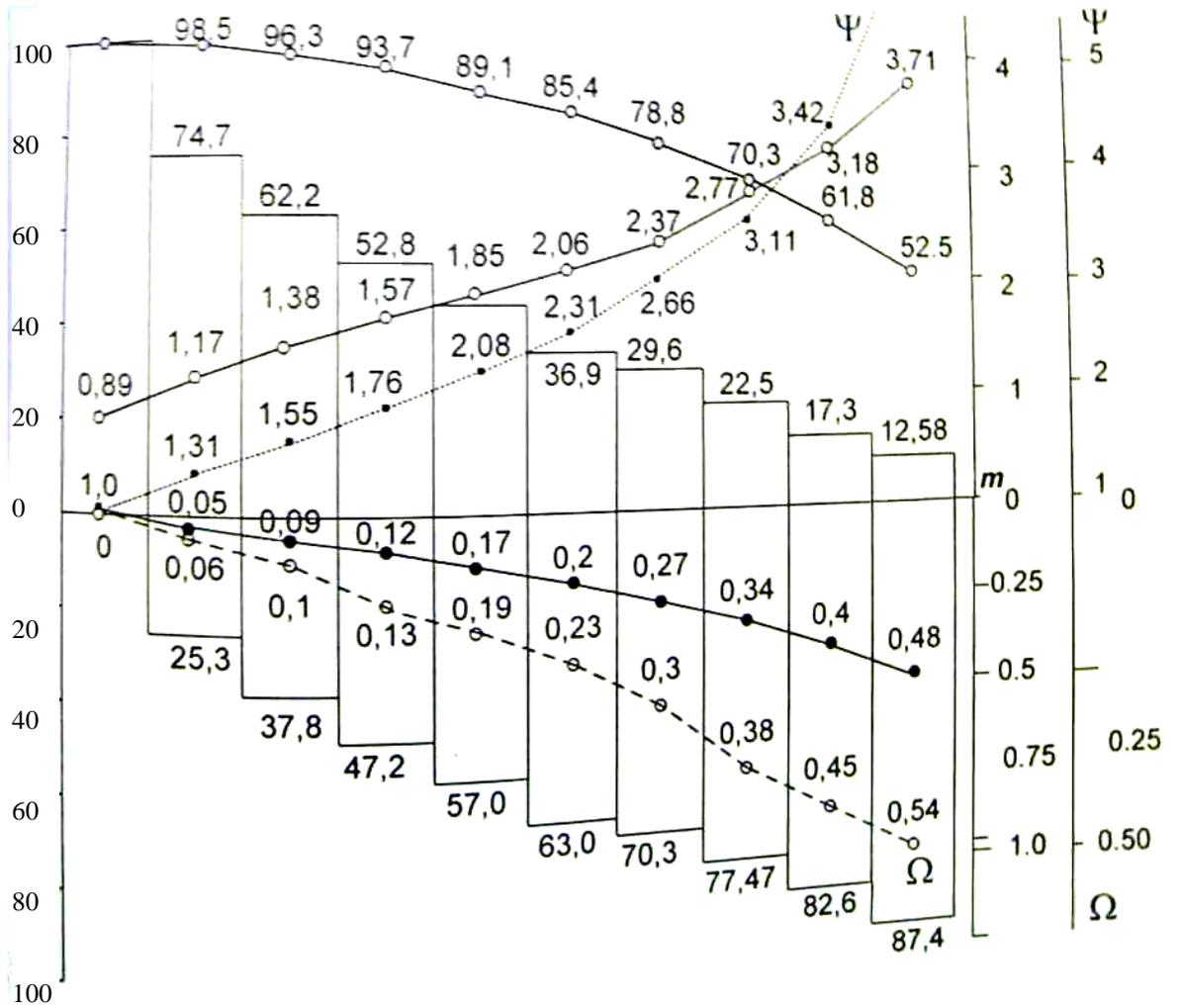
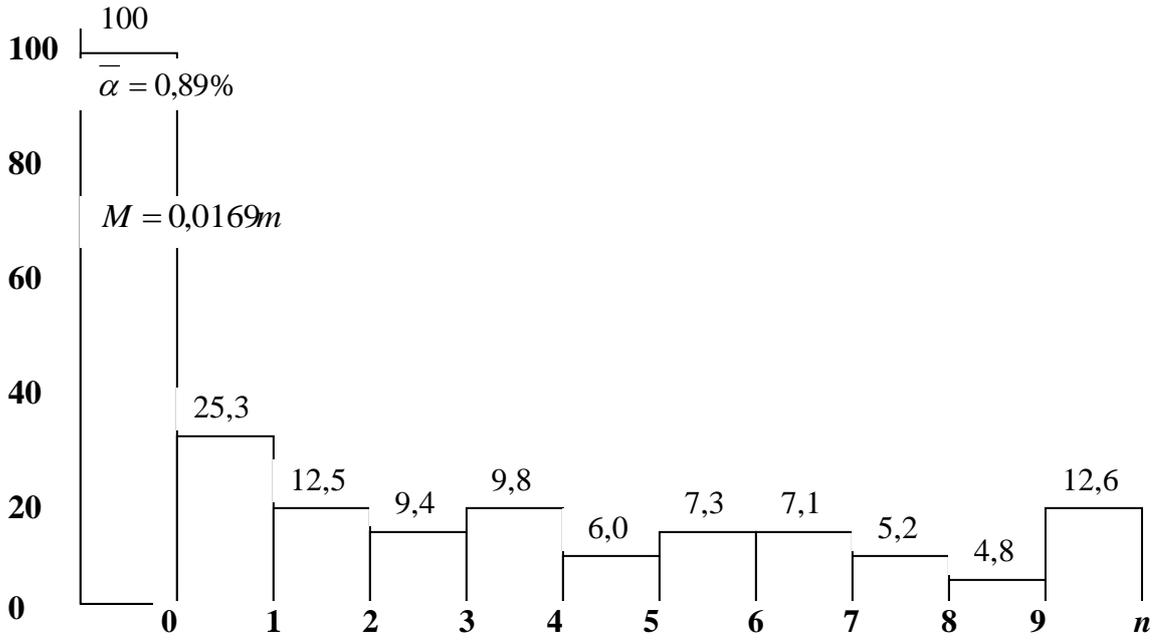


Рис. 2.2. Результаты численного моделирования

1. Отделение от общей рудной массы ев додай с относительно меньшими содержаниями полезного компонента приводит к существенному сокращению объёма конечного продукта горнодобывающего производства (пред концентрации товарной руды) с одновременным ростом его качества. Глубина процесса предконцентрации возрастает с увеличением граничного содержания металла в рудной массе. В рассматриваемом примере снижение количества рудной массы составило не менее чем на 25%, а для граничных условий близким к реальным, — порядка 50%. При этом среднее качество полезного продукта относительно исходного повысилось, соответственно, на 31% и 76% при извлечении металла в пред концентрат 0,98 и 0,96%.

2. Потери полезного компонента в отходах предконцентрации, по мере возрастания граничного содержания металла, изменяются по экспоненциальной зависимости, обратно пропорционально росту содержания металла в пред концентрате. Для близких к реальным граничным условиям, потери металла в отходах пред концентрации составили порядка 6%.

3. Критерием целесообразной глубины процесса внутрирудничной предконцентрации, должен быть показатель граничного содержания полезных компонентов в конечной продукции подземного рудника, определяемый как интегральная технолого-экономическая характеристика, устанавливаемая для всей цепи горно-металлургического производства, включающей добычу и обогащение руды, а также металлургический передел.

2.4. Показатели, используемые для количественной оценки изменчивости качества руд

Для оценки изменчивости качества руды в массиве и в рудо потоках, в возможно использование более 20 различных показателей, могут быть детерминированные, вероятностные или композиционные. Детерминированные базируются на аппарате различных властей Прикладной

геометрии, а также геометрии недр, с графическим отображением изменчивости. Вероятностные оценки основаны на понятиях теории вероятностей (математической статистики). При композиционные оценки и вероятностные я детерминированные элементы. Ниже показатели, которые могут быть использованы для оценки изменчивости качества отбитой руды (рудной массы), а также - руда в массиве [32].

Большая часть этих показателей известна из теории вероятности и применяется при статистических методах контроля. Но, в отличие от видов производства, при добыче полезных ископаемых чисто статический подход к оценке запасов руды не приемлем. При этом обходима увязка качественных показателей руды с пространством (геометрий ей рудного тела). Вариационно-статистическими методами возможна оценка изменчивости показателей качества лишь руды, которая отбитая от массива.

Графически изменчивость может выражаться в виде:

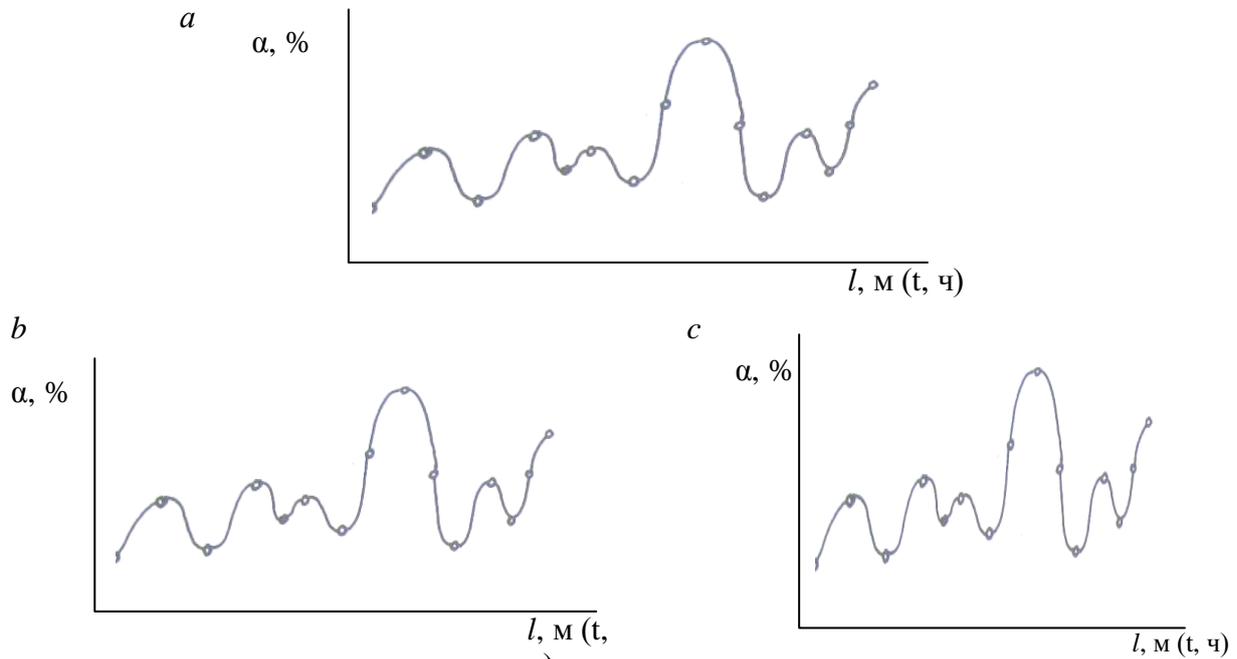
- кривой, иллюстрирующей изменение содержание полезного компонента на линейном или во временном интервале (рис. 2.3, а);
- топографической поверхности изменчивости признака по площади (рис. 2.3, б), отражающей изменения содержаний в соответствии с методами геометрии недр;
- гистограммы, графика плотности распределения вероятности или интегральной кривой распределения, отражающих законы распределения содержаний (рис. 2.3, с).

Графические методы оценки наиболее наглядны, достаточно полно, характеризуют распределение показателей, но перед аналитическими расчетами их необходимо определенным образом преобразовывать.

Любые методы оценки изменчивости качества должны пастеризовать три стороны колебательного процесса: изменение средних значений показателя, амплитуду и частоту колебаний.

Вместе с тем, довольно широкое распространение на практике нашли методы оценки изменчивости, основанные на показателях вариационной

статистики, которые в той или иной форме могут использоваться и для отбитой руды.



- a – кривой в линейном или временном интервале;
- b – площади пространства;
- c – плотности распределения случайных величин

Рис. 2.3. Формы графической реализации показателя изменчивости

Рассмотрим основные из этих характеристик.

Для отражения первой стороны процесса колеблемости показателя качества (средних значений) могут использоваться следующие характеристики:

– среднее арифметическое значение:

$$\bar{a} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i, \quad (2.33)$$

где a_i - содержание полезного компонента на i - ом отрезке линейного интервала, единичной площади, единичном объеме руды, порции рудопотока или промежутке временного интервала $i=1,2,3\dots n$;

– среднее взвешенное значение:

$$\bar{a}_s = \frac{\sum_{i=1}^n a_i \cdot \gamma_i}{\sum_{i=1}^n \gamma_i}, \quad (2.34)$$

где γ_i - выход, размер и масса i -го отрезка, площади, объема, куска, порции или промежутка времени, на котором измеряется содержание полезного компонента и в пределах которого соответствующие показатели принимаются одинаковыми;

– математическое ожидание или генеральное среднее случайной величины

$$m_a = \sum_{i=1}^n a_i p_i, \quad (2.35)$$

где p_i - вероятность содержания. При $i \rightarrow \infty$ величина $\bar{a} \rightarrow m_a$.

Для отражения абсолютной колеблемости по амплитуде известны следующие оценки:

– размах колебаний показателей качества

$$R = a_{i_{\max}} - a_{i_{\min}}; \quad (2.36)$$

– средняя величина первых разностей соседних значений показателя качества

$$\bar{\Delta} = \frac{\sum_{i=1}^n |a_i - a_{i-1}|}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n |\delta_i|}{n}; \quad (2.37)$$

– среднее по модулю абсолютное отклонение среднего значения

$$\bar{\delta} = \frac{\sum_{i=1}^n |a_i - \bar{a}_{i-1}|}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n |\delta_i|}{n}; \quad (2.38)$$

– дисперсия (арифметическая) или математическое ожидание квадрата разности между случайной величиной и её математическим ожиданием (средним значением)

$$D = \sigma^2 = M[(a_i - m_a)^2] = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (a_i - \bar{a})^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \delta_i^2; \quad (2.39)$$

– стандарт (арифметический) или среднеквадратическое отклонение

$$\sigma = \pm \sqrt{D} = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (a_i - \bar{a})^2}{n}} \approx \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (a_i - \bar{a})^2}{n-1}}; \quad (2.40)$$

– логарифмическая дисперсия, отражающая дисперсию десятичных или натуральных логарифмов содержаний (используется в геостатистике)

$$\sigma_{lg}^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\lg a_i - \lg \bar{a})^2; \quad (2.41)$$

– логарифмическое стандартное отклонение, вычисляемое как положительное значение квадратного корня из логарифмической дисперсии (так же используется в геостатистике):

$$\sigma_{ln} = \sqrt{\frac{1}{n} (\ln a - \ln \bar{a})^2}. \quad (2.42)$$

Изменчивость качества по частоте в вариационной статистике приближенно оценивают следующими показателями:

– средний период колебаний (интервал одного колебания)

$$i = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n l_i = \frac{L}{n-1} \quad \text{или} \quad t = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n t_i = \frac{T}{n-1} \quad (2.43)$$

где L - линейный интервал;

T - временной интервал;

N - число пересечений кривой изменчивости уровня среднего значения показателя качества на принятом интервале;

– средняя частота колебаний показателя качества

$$\bar{\omega} = \frac{1}{l} \text{ или } \bar{\omega} = \frac{1}{t}; \quad (2.44)$$

– коэффициент взаимной корреляции, характеризующий тесноту линейной связи между смежными показателями качества

$$r_i = \frac{a_i a_{i-1} - \bar{a}^2}{\sigma_a^2}; \quad \bar{r} = \frac{\sum_{i=1}^n r_i}{n}. \quad (2.45)$$

К комбинированным численным оценкам изменчивости, учитывающим совместное влияние двух или трёх сторон колебательного процесса, можно отнести следующие:

– коэффициент вариации средней величины, выражаемый обычно в процентах

$$\gamma = \frac{\sigma}{\bar{a}} 100\%; \quad (2.46)$$

– коэффициент вариации логнормальной величины, который используется в геостатистике

$$\gamma_{\ln} = \sqrt{\exp(\sigma_{\ln}^2) - 1}. \quad (2.47)$$

Средний градиент содержаний по направлению (например, развития горных работ) или во времени

$$\lambda_t = \frac{\sum_{i=1}^n |a_i - a_{i-1}|}{\sum_{i=1}^n l_i} = \frac{\sum_{i=1}^n |\Delta|}{L}$$

или

$$\lambda_t = \frac{\sum_{i=1}^n |a_i - a_{i-1}|}{\sum_{i=1}^n l_i} = \frac{\sum_{i=1}^n |\Delta|}{L} \quad (2.48)$$

где $L = \sum_{i=1}^n l_i$ - линейный интервал (по направлению),

$T = \sum_{i=1}^n t_i$ - временной интервал колебаний,

$l_{iz} t_i$ - интервалы одного (i-го) колебания;

– абсолютный коэффициент изменчивости [14], используемый в геометрии недр:

$$U_{j=1} = \frac{\int_{(k)} dk}{D} - 1, \quad (2.49)$$

где $\int_{(k)} dk$ - криволинейный интеграл первого типа, взятый по кривой Изменчивости k на всем интервале L (или T), то есть суммарная длина кривой k ;

D - длина гипотенузы прямоугольника с катетами, равными и кривой k (интервалу L или T) и размаху содержаний R .

Длину кривой k можно измерить курвиметром или одним из приближенных способов вычислить значение криволинейного интеграла.

При определенных упрощениях и наибольшем размахе R величина $U_{j=1}$

стремится к λ_i (или λ_t);

– коэффициент изменчивости [14]:

$$K_c = \frac{\lambda_t}{a} \text{ или } K_c = \frac{\lambda_i}{a}; \quad (2.50)$$

– относительный коэффициент изменчивости (по В.А.Букринскому)

$$U_{отн} = \frac{U_{j=1}}{a}. \quad (2.51)$$

В отличие от методов вариационной статистики, методы

геостатистики, разработанные Ж. Матероном, базируются на том, что математической моделью геологического признака (содержания полезного компонента) служит пространственная переменная величина. Содержание полезного компонента в руде при этом рассматривают как пространственную переменную в однородном статистическом поле. В геостатистике используется математический аппарат, сходный с аппаратом теории случайных функций, с помощью которого определяют амплитуды колебания возможных погрешностей подсчета запасов полезных ископаемых за счет погрешностей определения среднего, а также оценивают величину рассеивания полезного компонента на месторождении не связанную с размером пробы.

Наиболее полное отражение всех сторон колебательного процесса при использовании для этой цели теории случайных функций. Случайной называется такая функция, значения которой при каждом изменении аргумента является случайной величиной. В графическом виде случайная функция аппроксимируется множеством кривых, то есть кривой поверхностью. Численно случайная функция с достаточной для практики точностью характеризуется тремя неслучайными функциями, называемыми численными характеристиками случайной функции, которые оценивают три перечисленные стороны колебательного процесса:

– функция математического ожидания, около которой варьируют конкретные реализации случайной функции:

$$m_a(l) = M[a(l)]; \quad (2.52)$$

– функция дисперсии, значение которой для каждого аргумента (ид линейном или временном интервале колеблемости содержания) равно дисперсии случайных величин, соответствующих данному аргументу случайной функции:

$$D_a(l) = D[a(l)]; \quad (2.53)$$

– корреляционная функция, служащая мерой зависимости между

ординатами случайной функции при двух различных значениях аргумента l и l .

$$K_a(l, l) = M[\{a(l) - m_a(l)\} \cdot \{a(l) - m_a(l)\}], \quad (2.54)$$

$$m_a(t) \approx \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i(t) \quad (2.55)$$

$$D_a(t) \approx \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n [a_i(t) - m_a(t)]^2 \quad (2.56)$$

$$K_a(\tau) \approx \frac{1}{n-m-1} \sum_{i=1}^{n-k} [a_i(t) - m_a(t)] \cdot [a_i(t+m \cdot \Delta t) - m_a(t)] \quad (2.57)$$

где

$$\tau = m \cdot \Delta t = \frac{mT}{n}; \quad m < n; \quad m = 1, 2, 3, \dots,$$

до тех пор, пока

$$K_a(\tau) \approx 0$$

2.5. Трансформация изменчивости качества руды и её вероятностные модели

Показатели изменчивости добытой рудной массы, как правило, существенно отличаются от этих показателей в недрах. Основными причинами, влияющими на их изменение, являются следующие технологические и организационные факторы:

- система разработки, в значительной мере определяющая внутриблочную (внутрипанельную) трансформацию показателей изменчивости;

- рабочие параметры очистного горного оборудования;
- количество забоев (выпускных выработок, очистных блоков) в

одновременной эксплуатации;

- порядок объединения исходных рудопотоков (забойных, блоковых, панельных, участковых, поэтажных) в общерудничный рудопоток;
- способ подъёма руды и, соответственно, наличие подземного дробильного комплекса;
- наличие рудоусреднительных систем в технологической схеме рудника.

Получение информации о качестве руды и её природной изменчивости в недрах с методической точки зрения, в принципе, не представляет большой сложности, если имеется необходимый доступ к оцениваемым запасам, т.е. пройдены соответствующие горные выработки, пробурены (по требуемой сетке) скважины и выполнены весь объём работ по взятию проб. Сложнее прогнозировать показатели изменчивости качества рудной массы на выходе её из рудника, что собственно и требуется для успешного управления этим процессом. Серьёзно усложняет прогнозирование и имеющихся на практике недостаточность информации о природных характеристиках качества руды и достоверности исходных данных о их распределении в массиве. Поскольку результаты опробования объективно могут отражать качество руды лишь в объёме самой пробы, то отнесение полученных выводов на большие объёмы руды формирует тем большую ошибку, чем крупнее объём, на который распространяют эти выводы.

Исходя из сказанного понятно, что для всестороннего понимания и эффективного управления качеством руды при её добыче необходимо наличие научной базы, позволяющей объективно оценить и упорядочить, в принципе, хаотичный процесс изменчивости показателей качества в технологической цепи рудника. Поэтому для управления нужны надёжные модели процесса трансформации качества руды при её добыче, в достаточной степени адекватные натурным условиям и, вместе с тем, в меру сложные, поскольку чрезмерное увеличение числа влияющих факторов на практике приводит к неработоспособности таких моделей.

Существующие аналитические модели трансформации показателей изменчивости качества руды представляют собой вероятностно-математические выражения с разной степенью учёта влияющих факторов и, соответственно, отличающихся по своей сложности. Создаются такие модели на основе теоретических гипотез или анализа реальных процессов в конкретных условиях. Имеется не мало попыток создания теоретическим путём общей модели этого процесса. Эти исследования имеют несомненную научную ценность, но пока полученные таким образом модели ещё не могут полностью удовлетворить потребности практики из-за их сложности и необходимости иметь дополнительную информацию, которой предприятия обычно не обладают.

Более полные и адекватные натурным условиям это модели, создаваемые на базе статистических данных, полученных на локальных объектах. Но получаемые при этом аналитические зависимости являются эмпирическими, которые действительны лишь для условий тех горнодобывающих производств, где производились исследования. Попытки экстраполяции таких зависимостей на другие месторождения, как правило, не правомерны, приводя к искажённому результату.

Примером такой эмпирической модели может быть зависимость дисперсии среднесменных содержаний железа в результирующем рудничном потоке рудной массы D от числа очистных забоев n и, полученная на основании замеров на горных предприятиях КМА:

$$D = \sigma^2 = \frac{A + Bn}{\gamma^2 Q_i + n} \quad (2.58)$$

Здесь σ - среднеквадратическое отклонение; A и B - постоянные коэффициенты;

γ_{Q_i} - усреднённый коэффициент вариации производительности одного забоя (камеры, блока);

Для условий шахты им. Губкина $A=0,896$, $B=0,007$ и $\gamma_{Q_i}^2=0,193$.

При составлении вероятностных моделей процесса трансформации показателей качества рудной массы при её добыче в качестве исходного положения обычно принимается то, что изменчивость качества результирующего (общерудничного) рудопотока определяется изменчивостью показателей составляющих его рудопотоков (призобойных, участковых, поэтажных и др.)

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n \sigma_i^2}{n^2} \quad (2.59)$$

где σ^2 и σ_i^2 – дисперсии показателя качества рудной массы, соответственно, в результирующем и в формирующих его единичных рудопотоках;

n – число единичных рудопотоков (забоев), участвующих в формировании общерудничного рудопотока.

Если принять, что изменчивость руды во всех забоях одинакова, то получается известная формула математической статистики для оценки погрешности среднего значения переменной, определённой из случайной выборки объёма n

$$\sigma = \frac{\sigma_i}{\sqrt{n}} \quad (2.60)$$

Здесь для условий рудника принимается, что σ и σ_i – среднеквадратические отклонения, соответственно, в общерудничном и забойных рудопотоках, i – число одновременно действующих забоев. В выражениях (2.43 и 2.60) предполагается:

- равенство всех первичных рудопотоков (позабойных и др.);
- некоррелированность и случайность показателей во всех рудопотоках,
- для (2.60) к тому же и равенство дисперсий показателя качества в рудопотоках.

Для оценки изменчивости качества рудной массы в общерудничном рудопотоке близкую по своей сути зависимость предложили Д.Р. Каплунов и

Ил. Манилов [28]:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sigma_i^2 + \sigma^2}{n}} \quad (2.61)$$

где σ – среднеквадратические отклонения содержания металла в общерудничном рудопотоке;

σ_3^2 и $\sigma_{мз}^2$ - дисперсии содержания металлов в забойных и в межзабойных рудопотоках;

n - число одновременно действующих забоев.

В реальных условиях производительность забоев, а, следовательно, и первичных рудопотоков не одинакова. Не вполне правомерно также на стадии горных работ рассматривать показатели качества (например, содержания компонента) как абсолютно случайные и некоррелированные величины, поскольку в них отражаются генетические связи, существующие в рудном теле. Конечно, по мере прохождения рудной массы через технологические процессы добычи эти связи становятся всё менее явными и практически полностью нарушаются после смешивания рудной массы с объемами, поступающими из других забоев, участков и этажей.

П.П. Бастаном [8] предложена зависимость, учитывающая корреляцию содержаний компонента с объёмами добычи:

$$\sigma = \frac{\sigma_3}{\sqrt{n}} \left(\frac{Q}{Q_3} \right)^{\frac{1-r^2}{2}} \quad (2.62)$$

σ – стандарт содержаний металла в руде в объёме производительности всех забоев Q ;

σ_3 – стандарт отклонений содержаний металла в руде и объёме производительности одного забоя;

n – число добычных забоев;

r – коэффициент взаимной корреляции.

При создании этой модели были сделаны следующие допущения:

- производительности загрузки и разгрузки смесителя одинаковы, устройство является непрерывно действующим;
- руда циклически загружается одинаковыми порциями в n параллельных вертикальных секциях, поверхность материала горизонтальная;
- разгрузка осуществляется из всех вертикальных секций с одинаковой производительностью;
- горизонтальность слоев руды в секциях не нарушается;
- колебания компонента a в исходном потоке представляют собой стационарный случайный процесс $a(t)$ с корреляционной функцией $K_a(\tau)$ и математическим ожиданием a .

Данная модель предназначена в основном для проектирования усреднительных систем на рудовозах обогатительных фабрик и металлургических заводов. Использование её для планирования или прогноза качества руды в общерудничном рудопотоке затруднительно из-за необходимости иметь специфичные исходные данные, которыми рудник, как правило, не располагает. Конечно, математическая модель Е.И. Азбеля может быть применена при создании внутрирудничных (в том числе и на поверхности рудника) усреднительных систем. Но в этом случае потребуется сбор большого объёма дополнительной информации, необходимой для данной модели. При этом необходимо в модель ввести ограничения, учитывающие специфику работы горнодобывающего предприятия.

Расчёты по всем приведенным выше аналитическим зависимостям дают в результате абсолютные значения показателя изменчивости качества руды на завершающей стадии горно-добычного производства. Но для обобщённой оценки технологической эффективности смесительных процессов необходимо использование относительных критериев. В качестве таких критериев служат показатели:

- коэффициент усреднения K_y , характеризующий, во сколько раз трансформировался показатель изменчивости качества руды;

• показатель степени усреднения η , показывающий, на сколько единиц произошла эта трансформация. Между показателями K_y и η имеется следующая взаимосвязь:

$$K_y = \frac{I_o}{I} = \frac{1}{1-\eta}, \quad \eta = 1 - \frac{1}{\frac{I}{I_o}} = 1 - \frac{1}{K_y} \quad (2.63)$$

Здесь I и I_o – показатели изменчивости качества ископаемого продукта до и после смесительного процесса. При снижении изменчивости показателя $I_o > I$ и $K_y > 1$. В случае отсутствия усреднения $I = 0$ и $K_y = \infty$ и. Если же $I_o < I$ $K_y < 1$, то это означает, что произошла относительная дестабилизация состава рудной массы.

В качестве I_o и I могут приниматься различные показатели изменчивости: квадратическое отклонение σ , дисперсия D , коэффициент вариации γ и некоторые другие. Поскольку σ , D и γ аналитически взаимосвязаны, то при расчёте K_y можно пользоваться любым из них. Но при этом следует оговаривать по какому показателю изменчивости рассчитывается коэффициент усреднения, поскольку численные значения K_y будут различаться. Обычно, все эти показатели оценивают так называемую статическую составляющую изменчивости, характеризующую амплитуду колебаний.

Так, если принять, что $I_o = \sigma$ и $I = \sigma$, то

$$K_y(\sigma) = \frac{\sigma_o}{\sigma} \quad (2.64)$$

При $I_o = D_o$ и $I = D$

$$K_y(D) = \frac{D_o}{D} = \frac{\sigma_o^2}{\sigma^2} = \left(\frac{\sigma_o}{\sigma} \right)^2 = [K_y(\sigma)]^2 \quad (2.65)$$

Если же $I_o = \gamma$ и $I = \gamma$, то

$$K_y(\gamma) = \frac{\gamma_o}{\gamma} = \frac{\overline{\sigma_o a}}{a\sigma} = \frac{\overline{a}}{a_o} K_y(\sigma) \quad (2.66)$$

где $\overline{a_o}$ и \overline{a} - соответственно, средние значения содержания металла в рудной массе до и после смесительного процесса.

При последовательном прохождении рудной массы через несколько производственных процессов или операций сопровождаемых смешиванием, общий коэффициент усреднения определяется из выражения:

$$K_y^{обш} = K_{y1} + K_{y2} + \dots + K_{yn} = \prod_{i=1}^n K_{yi} \quad (2.67)$$

С помощью коэффициента усреднения K_y можно оценивать и уровень трансформации динамической составляющей изменчивости, которая отражает последовательность трансформации показателя качества во времени и по направлению в пространстве, то есть выражать частотные характеристики процесса изменчивости.

Наиболее полно динамическую составляющую изменчивости качества рудопотоков удаётся описать с помощью понятий и аппарата теории случайных функций. При этом частотные характеристики изменчивости выражаются с помощью корреляционных и ковариационных функций, спектральных плотностей, структурных функций и других параметров теории случайных функций. Динамическая стабилизация качества руды приводит к более плавному убыванию нормированных корреляционных функций и к более плавному возрастанию структурных функций и смещению спектральных плотностей в область более низких частот. В такой методической постановке коэффициент усреднения, учитывающий динамическую составляющую изменчивости по аналогии с формулой (2.62) принимается равным отношению автоковариационных, автокорреляционных или спектральных функций до и после смесительного процесса и сам представляет соответствующую автокорреляционную функцию. Таким образом, коэффициент усреднения не является детерминированной

величиной и должен рассматриваться как реализация сложной случайной функции.

Вместе с тем, известные методические разработки, использующие аппарат теории случайных функций для решения усреднительных задач, отличаются определённой сложностью и пока ещё не доведены до состояния, удобного для использования в практической деятельности горных предприятий.

В определённых условиях возможно применение, описанной ниже, относительно простой, хотя и менее точной методики учёта динамической (частотной) составляющей изменчивости качества руды через численные показатели, вытекающие из понятий вариационной статистики. Естественно, что эта методика пригодна лишь для укрупнённых расчётов. Тем не менее, её можно успешно применять, если использовать следующие численные частотные характеристики изменчивости: средний период колебаний качества на линейном \bar{l} или во временном \bar{t} интервале, либо обратные им величины – среднюю частоту колебаний качества на линейном $\overline{\omega_t}$ или во временном интервале $\overline{\omega_t}$. Коэффициент усреднения можно представить в виде:

$$K_y(\bar{l}) = \frac{\bar{l}_o}{\bar{l}} \quad \text{и} \quad K_y(\bar{t}) = \frac{\bar{t}_o}{\bar{t}} \quad (2.68)$$

Уменьшение частоты колебаний при усреднении обеспечивает большую однородность качества или большую стабильность выходного рудопотока.

Для оценки с помощью коэффициента усреднения технологической эффективности смесительного процесса при различных методах и средствах управления качеством или на различных участках технологической схемы добычи, необходимо соблюдение определённых условий. Так, для обеспечения сопоставимости результатов при расчёте K_y следует

использовать показатели изменчивости качества I_0 и I , установленные обязательно при одинаковых по массе дозах, в которых содержание компонентов принимается постоянно, то есть равномерно распределённым и равным среднему в этой дозе. Если же при определении показателей изменчивости качество руды оценивалось в разных по массе дозах, то возникает необходимость приведения показателей качества (содержаний компонентов) и соответствующих им величин I_0 , I и K_y к одинаковым дозам. Это можно сделать простым пересчётом, если такое приведение выполняется от меньших доз к большим. В противном случае, из-за недостаточности информации, необходимо заново произвести замеры показателей качества руды по более густой сетке опробования. Это условие необходимо учитывать к при пользовании формулой (3.69), которая применима только в тех случаях, если при расчёте входящих в неё величин содержание компонентов определялось в одинаковых по массе дозах.

2.6. Общая структура рудничной системы управления качеством руды

Современная общерудничная система управления качеством руды должна включать в себя следующие составные элементы:

- информационный блок о качественно-количественных характеристиках руды в недрах и в основных узлах технологической схемы рудника;
- блок обоснования технологических и организационных решений с соответствующей методологической и расчётной базой;
- комплекс технических средств, технологических способов и организационных приёмов, необходимых для практического осуществления мероприятий по управляемому формированию качества руды;
- блок контроля качества выполнения работ.

Информацию о качестве руды в массиве и в отбитом состоянии получают по данным геологоразведочных и эксплуатационных работ в

результате химического и минералогического анализа проб руды. Эти пробы отбираются из скважин, с поверхности горных выработок, из навала отбитой руды, из выпускных выработок и транспортных средств, с рудных складов и ар. На основании полученных материалов определяются направления развития фронта работ и объёмы производства на перспективу. Такой способ получения информации (при наличии достаточно густой сетки опробования) в основном удовлетворяет потребности календарного и текущего планирования горных работ. Но, как это уже отмечалось ранее, такая информационная система о качестве руды не может в должной мере удовлетворить горнодобывающие предприятия для целей оперативного управления, поскольку получаемые при этом сведения, как правило, значительно отстают от фактически сложившегося к тому времени состояния производства и поэтому характеризуют не реальную, а уже прошедшую ситуацию. Основными получателями информации о качестве руды являются геологический, маркшейдерский и технический отделы. Значительно реже эта сведения поступают в производственные службы рудника, в том числе, к непосредственным исполнителям горно-добычных работ. Такое положение является следствием того, что чаще производственные подразделения рудников практически мало участвуют в мероприятиях по управлению качеством добычи. В основном эта деятельность - прерогатива геолого-маркшейдерских служб рудников, отделов технического контроля обогатительных фабрик и других потребителей руды. Для линейного персонала добычных участков и рабочих бригад главным критерием оценки работы обычно является объём добычи. Как правило, эта категория работников не имеет соответствующих стимулов за повышение качества добычи. Такое положение может быть оправданным в условиях разработки богатых руд, но с обеднением запасов недр при этом недоиспользуются существенные резервы повышения качества руд в горнодобывающем производстве.

В таблице 2.1 приведена типичная структура информационных потоков

о качестве руды, функционирующая в рудниках. Как видно из неё, сведения о качестве руды в недрах и об отбитой рудной массе в основном поступают в геологический, маркшейдерский, технический и контрольные отделы и в наименьшей мере востребуются производственными подразделениями рудника, непосредственно осуществляющих выемку и доставку руды. Данные этой таблицы характеризуют то, в какой мере обычно действованы в решении проблемы качества руды различные структуры горного производства.

Таблица 2.1

Традиционная структура информационных потоков о качестве руды

Характеристики информации	Источники информации о качестве руды								
	Разведочное бурение	Бороздовое опробование	Эксплуатационное бурение	Отбитая руда	Средства доставки	Рудничный транспорт	Подземный дробильный комплекс	Склады руды на поверхности	Транспорт на поверхности
Цель	Календарное и текущее планирование, обоснование и корректировка кондиций и ТУ			Оперативное управление (реже) и текущий контроль ОТК ОФ (чаще)				Контроль ОТК ОФ	
Частота получения информации	По мере выполнения геологоразведки	По мере необходимости	Перед отбойкой руды	В случаях необходимости					
Пользователь	Геолого-маркшейдерские службы и технический отдел			Геологическая служба, технический отдел, ОТК				ОТК ОФ	
Частота передачи пользователю	1-2 раза в год	1-3 раза в квартал	1-4 раза в месяц	По необходимости				По графику ОТК	

Естественно, что традиционную для рудников систему получения информации о характеристиках руды в современных условиях необходимо существенно реорганизовывать в соответствии с изменяющейся структурой запасов, связанной с их естественным обеднением, изменением хозяйственных отношений и, соответственно, ужесточением требований к качеству конечной продукции, а также с учётом технического прогресса в области управления качеством. В целом общерудничная информационно-управляющая система должна быть более дифференцированной. При этом, наряду с обеспечением горнодобывающего производства достаточно достоверной информацией о количестве и качестве различных типов запасов месторождения, что необходимо для обоснования решений задач рудника на ближайшую и дальнюю перспективу, следует создавать и значительно более

эффективную подсистему текущего контроля качества руды по всем стадиям добычного процесса. Эта часть общей информационно-управляющей системы должна базироваться на современных радиометрических и «тронных технических средствах, обеспечивая существенно более высокую оперативность и информативность получаемых данных. По крайней мере, оперативные сведения о качестве руды в технологическом потоке должны поступать в соответствующие линейные службы до момента выполнения организационных и технологических действий, изменяющих сложившиеся количественно-качественные соотношения в руде (табл. 2.2).

Естественно, что информационно-управляющая система качества руды должна полностью соответствовать технологической схеме рудника. Более того, она может внести определённые коррективы в существующую технологическую схему.

Таблица 2.2

Реконструированная система информационных потоков о качестве руды

Характеристики информации	Источники информации о качестве руды								
	Разведочное бурение	Бороздовое опробование	Эксплуатационное бурение	Отбитая руда	Средства доставки	Рудничный транспорт	Подземный дробильный комплекс	Склады руды на поверхности	Транспорт на поверхности
Цель	Календарное и текущее планирование, обоснование и корректировка кондиций и ГУ			Оперативное управление и систематический текущий контроль					Оперативный контроль
Частота получения информации	По мере выполнения геологоразведки	Систематически	Перед отбойкой руды	После каждого взрыва	Периодически из ковшей ПДМ	Систематически из каждого транспортного средства	Систематически на входе и на выходе	Систематически по мере заполнения штабелей	Систематически из транспортных средств
Пользователь	Геолого-маркшейдерские службы и технический отдел			Геологическая служба, технический отдел, начальник смены, диспетчер (оператор по качеству), очистные участки, ОТК					
Частота передачи пользователю	1-2 раза в год	1-3 раза в квартал	1-4 раза в месяц	В течение рабочей смены					

В зависимости от способа управления качеством возможны самые различные варианты информационно-управляющей системы. Очевидно, что во всех случаях эта система должна обеспечивать управляющие звенья производства своевременными и достоверными сведениями о качестве

рудной массы, количестве вмещающих пород, контрастности физических свойств руды и пустых пород, уровне стабильности показателей качества. Датчики контроля качества руды должны быть установлены на всех узловых точках технологической схемы рудника, на которых происходит изменение состава руды, а также смешивание грузопотоков руды. Такими узловыми точками являются: забои (выпускные выработки), участковые рудоспуски, пункты погрузки руды на транспортных и концентрационных горизонтах, места слияния отдельных рудопотоков. В принципе места расположения датчиков качества рудной массы должны предшествовать в технологической схеме рудников узлам, где происходят воздействия на состояние качества продукции горного предприятия. Например, при создании пункта сортировки или предконцентрации качества (рудной массы в выработках околоствольного двора, датчики предварительной информации о качестве руды должны быть расположены, как минимум, в месте взвешивания руды или в бункере под опрокидывателем. При организации же участкового усреднительного склада руды необходимо расположить датчики качества как на входе в этот склад, так и на выходе из него. Такое расположение датчиков позволит заблаговременно получать необходимые сведения о составе рудной массы и её свойствах и, следовательно, создаст более благоприятные условия для своевременного (при необходимости) изменения режима работы пунктов формирования качества руды.

Важность соблюдения этого принципа можно проиллюстрировать на примере Зырянского свинцово-цинкового комбината, где была создана первая рудничная автоматизированная система управления качеством руды. Пункты контроля руды были выполнены на весовой, Расположенной непосредственно перед опрокидывателем, что практически исключало возможности каких-либо управляющих действий с рудой, так как возможности отделения от состава отдельных вагонов, даже с заведомо пустой породой, на этой стадии технологической схемы уже практически нет. Вследствие этого вся рудная масса, вне зависимости от результатов

повагонного анализа, разгружалась в общий бункер. Таким образом, размещение аппаратуры контроля оказалось малоэффективным с позиций управления процессом формирования качества добычи: при этом осуществлялась лишь регистрация стихийно сформировавшегося в грузопотоке качества рудной массы без возможности активного на него воздействия.

Технологическая схема добычи с управлением качеством рудной массы может включать в себя, кроме усреднительных систем и пунктов предконцентрации на различных стадиях добычных работ, узел призабойной рудосортировки, а также – по вагонной (по машинной) выбраковки руды. Естественно, что в этих случаях без аппаратуры оперативного контроля и также не обойтись. Расположение датчиков контроля качества при этом может быть стационарное (на концентрационных горизонтах, в рюлоствольном дворе, бункерах), полустационарное (в призабойном пространстве, на откаточных горизонтах), мобильное (смонтированные на погрузочно-доставочных и транспортных средствах).

Наиболее перспективным представляется размещение датчиков оперативной информации о качестве руды непосредственно в ковшах и кузовах погрузочных и доставочных машин с выводом экрана в кабину машиниста. Это должны быть наиболее простые и неприхотливые в эксплуатации устройства, например, с красной и зелёной индикацией на дисплее, информирующие об уровне соответствия минерального продукта существующим требованиям. Применение таких технических средств уже на канальных пунктах технологической схемы добычи может кардинально повысить культуру горного производства, существенно снизив погрузку и доставку некачественной рудной массы. Безусловно, что такая аппаратура не может заменить более точный контроль и более глубокие процессы предконцентрации и усреднения, выполняемые в специально оборудованных горных выработках и с применением более мощных технических средств.

При управлении качеством добычи может возникнуть необходимость

создания (вместо одного результирующего) нескольких самостоятельных потоков с разнокачественной рудой. Каждый такой рудопотока направляется в свой пункт назначения с наиболее эффективным для него способом первичной переработки. Но и при наличии в месторождении одного типа сорта руды выделение нескольких рудопотоков с разными уровнями содержания металла способствует повышению стабильности качества руды в каждом из рудопотоков.

Информационная система качества руды на горном предприятии, безусловно, должна быть общей, объединяющей все потоки данных о руде полученных при всех видах разведки, а также в очистных блоках и в технологической цепи рудника. Конечно, создание такой разветвлённой Системы контроля качества рудной массы, оправдано лишь при условии полезного использования всего получаемого объёма сведений для управляемого формирования показателей качества. Поэтому должна быть востребованность такой информации со стороны всех служб, влияющих на изменение качественных показателей руды в результате их функциональных действий. Такая потребность в этих сведениях неизбежно возникнет при предъявлении к этим службам определённых требований в части качества руды.

Исходя из всего сказанного выше, складывается следующая структура общей информационно-управляющей системы качества руды в руднике, включающая в себя две составные части:

- систему календарного и текущего планирования;
- систему оперативной информации и управления.

Первая система (рис. 2.4), в принципе, может иметь традиционный вид, но с внесением в неё некоторых существенных дополнений. В первую очередь, введением в неё элемента персональной ответственности специалистов, в том числе геолога, маркшейдера, горняка-технолога и плановика-экономиста (объединённых в специальную группу) за эффективность функционирования системы в части текущего планирования я

управления качеством добычи. Эта группа специалистов должна не только участвовать в разработке текущих планов горных работ, но и осуществлять (каждый по своему направлению) контроль выполнения горно-добычных работ, своевременно информируя техническое руководство рудника о необходимости внесения коррективов в задания соответствующим подразделениям.

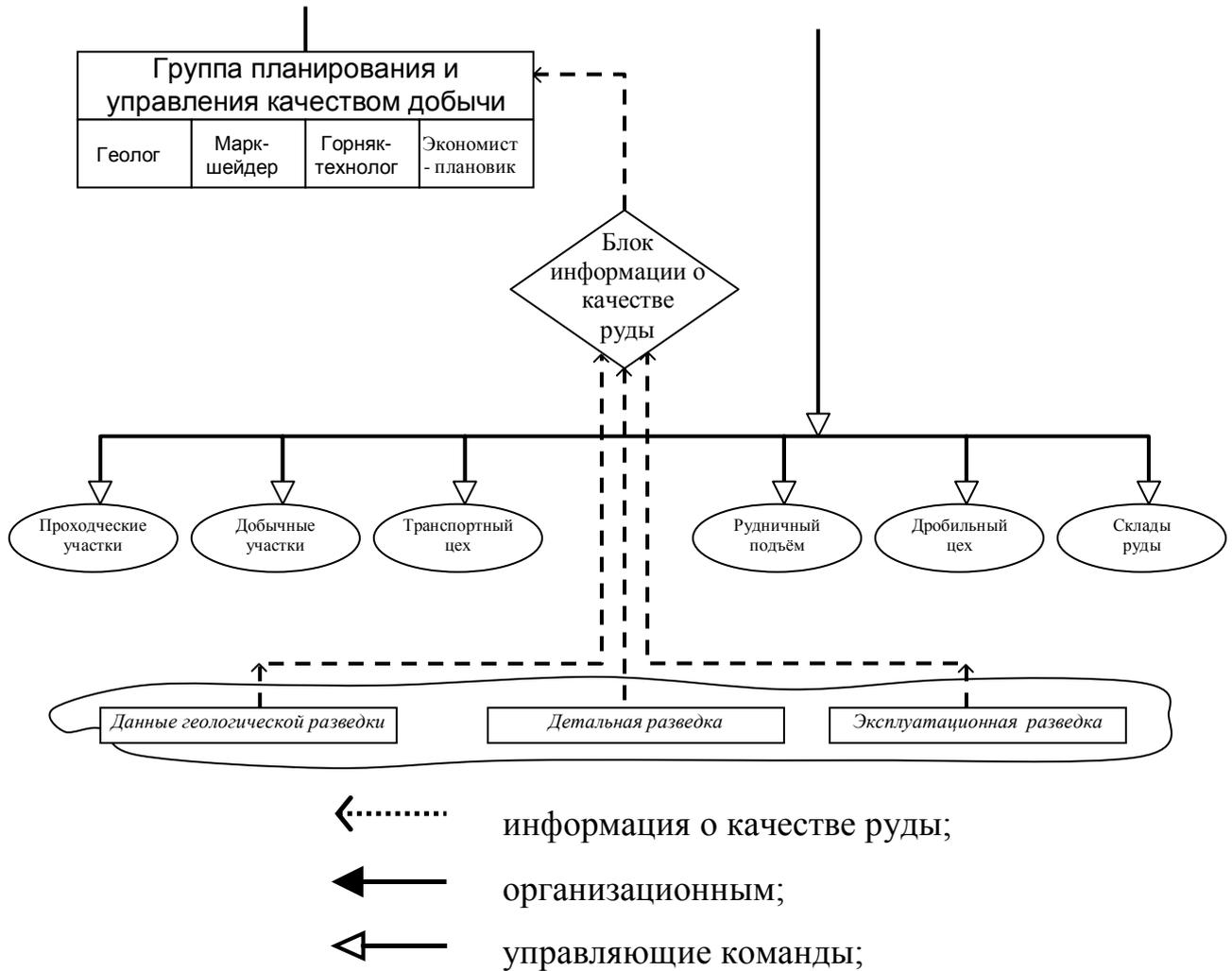
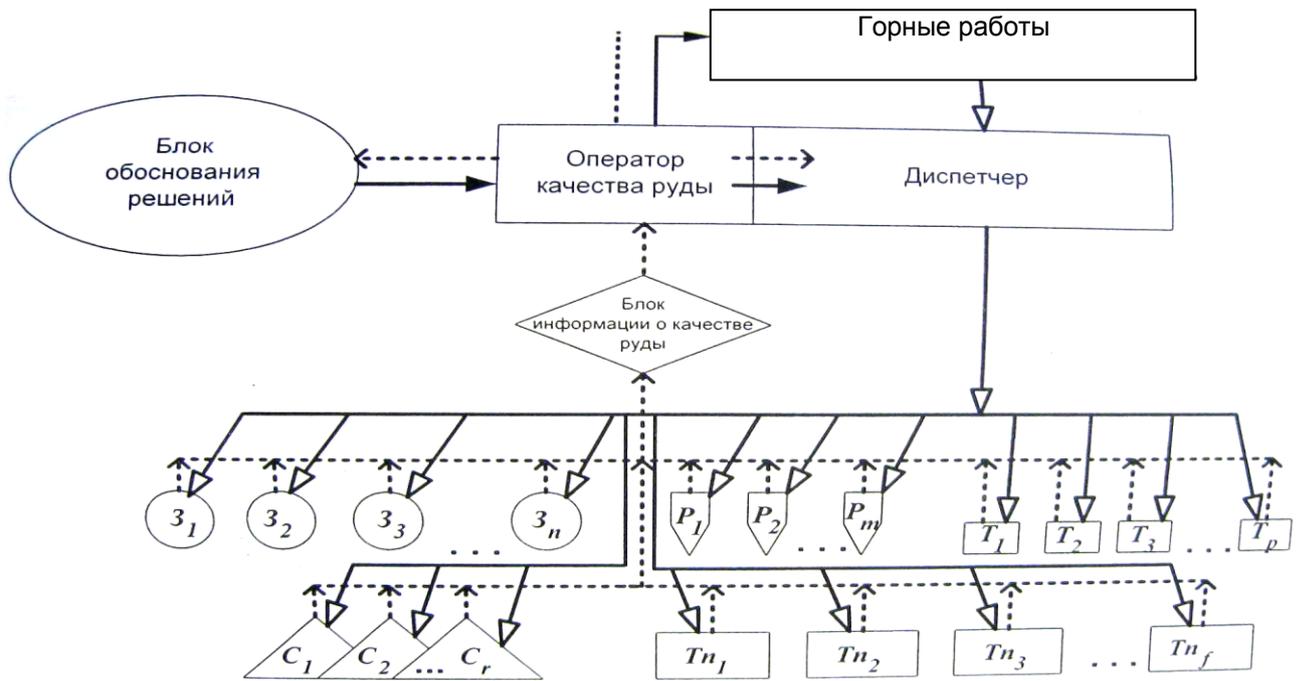


Рис. 2.4. Структура системы календарного и текущего планирования управления качеством добычи

Вторая система (рис. 2.5), в отличие от системы текущего планирования и управления качеством руды, создаётся заново. Её производственные действия являются логическим развитием функций первой системы.



←······ информация о качестве руды; ←— управляющие команды;

←— рекомендации по технологическим и организационным решениям;

3_1 - забои очистного блока, панели; P_1 - рудоспуски; T_1 - внутрирудничные средства транспорта руды; C_1 - склады руды; Tn_1 - средства транспорта руды на поверхности;

Рис. 2.5. Принципиальная структура оперативной информационно-управляющей системы качества руды

Эта структура должна создаваться при условии обеспечения управляющих звеньев рудника оперативными сведениями о состоянии качества рудной массы на всех узловых точках технологической схемы. Получаемая при этом информация должна передаваться по самостоятельным каналам и поступать в единый центр её переработки. Вся оперативная информация должна концентрироваться у специального оператора, который после переработки полученных сведений (в том числе, путём задействования в работу блока обоснования решений) и изучения альтернативных вариантов технологических и организационных решений даёт обоснованные рекомендации диспетчеру или сменному руководителю горных работ о

наиболее рациональном варианте действий. Управляющие решения, принимаемые техническим руководителем, передаются в виде распоряжения конкретным исполнителям через диспетчера.

Группа текущего планирования и управления качеством, совместно с техническим персоналом блока обоснования технологических и организационных решений составляет мозговой центр системы управления. Здесь накапливается информация о состоянии количественно-качественных характеристик руды в разных частях месторождения и технологического комплекса рудника, анализируются исходные данные и выполняются ! соответствующие расчёты. Важнейшим составным элементом системы управления качеством руды является методология обоснования технологических и организационных действий горнодобывающего производства. Для этого, в зависимости от сложности решаемых задач, следует использовать методы исследования операций (линейное и динамическое программирование, сетевое планирование и др.), математический аппарат (линейная алгебра, теория вероятности и математическая статистика, теория случайных функций и др.). Расчеты и результаты моделирования ситуаций производятся в компьютерном центре с передачей рекомендаций соответствующим руководителям производства с обеспечением обратной связи в режиме реального времени.

2.7. Взаимная увязка различных требований к качеству руды

В систематизации способов управления качеством руд при подземной добыче были определены, в зависимости от поставленных целей, три группы, каждая из которых содержит по несколько возможных способов воздействия на руду и изменения её характеристик. С помощью этих способов предоставляется возможность обеспечивать, в той или иной мере, регулирование показателей рудной массы. Каждый из способов отличается своими технологическими и организационными приёмами и имеет свои

критерии оценки. Поэтому на практике возможны такие ситуации, когда какие-то мероприятия, направленные на достижение определённой цели управления могут вступать в противоречие с другими задачами и способами формирования качества. Например, цели сепарационных и усреднительных технологий принципиально разные, и для их достижения требуемых результатов обычно необходимы диаметрально противоположные действия. Так, если сепарация подразумевает создание максимальной контрастности содержания металлов между пред концентратом и отходами сепарации путём выполнения разделительных процессов, то усреднение, наоборот, имеет целью максимальное перемешивание всех компонентов рудной массы.

Другой пример. Повышение степени дробления рудной массы может сопровождаться снижением в ней содержания полезных компонентов. Это связано с тем, что рудные минералы часто обладают большей хрупкостью, чем вмещающие их породы, что способствует более интенсивному переизмельчению и росту потерь наиболее богатой рудной мелочи.

Можно отметить и другие возможные противоречия в некоторых целях и в способах управления качеством руд. Поэтому существует объективная необходимость при создании управляющих систем качества, оптимально увязывать эти взаимные несоответствия в общей технологической схеме, максимально нейтрализовав их взаимные негативные воздействия.

В общем случае, для взаимной увязки разделительных и усреднительных процессов в технологической схеме, их необходимо развести по последовательности исполнения. Например, для случаев, когда необходима по сортавая отгрузка с высокой стабильностью показателей качества руды, вначале следует выполнять отдельную добычу разнорудных руд (или сортировку рудной массы) с дроблением до требуемой крупности в процессе отбойки и на дробильно-сортировочном комплексе, а затем уже производить смешивание рудопотоков и дискретных объёмов по соответствующим сортам. Нарушение указанного принципа будет способствовать усложнению исполнения требований к продукции рудника в

части обеспечения определённого химического и минералогического состава руды, поскольку по мере удаления рудопотока от забоя происходит естественное перемешивание рудной массы под воздействием последующих производственных операций. Очевидно, что размещение разделительных средств на выходе рудопотока из рудника потребует выполнения более глубокой сепарации рудной массы. Но, с другой стороны, отдаление пунктов сепарации от забоев позволяет создать стационарные производства с более совершенной и глубокой технологией разделения, не зависящей от локальных условий очистных работ.

Другое обстоятельство, которое необходимо учитывать при взаимной увязке различных требований к качеству полезного ископаемого это - их разная экономическая значимость, как для отдельных производств (добыча, обогащение, металлургический передел), так и для горно-металлургического комплекса в целом. Реально могут возникнуть такие ситуации, когда некоторые из этих требований, весьма выгодных потребителю, очень нетехнологичны и потому неоправданно трудоёмки и дороги для рудника. Так, для обогатительных фабрик наиболее существенное значение имеют такие показатели качества рудного сырья как минеральный тип руды, крупность рудо-минеральных зёрен, содержание полезных и вредных компонентов, уровень стабильности минерального и химического составов, гранулометрический состав, прочность кусков, влажность и целый ряд других. Эти характеристики предопределяют обогатимость руды, показатели выхода и качества концентратов, а также энерго- и материалоёмкость процессов обогащения. При этом степень влияния каждой из этих характеристик качества руды на показатели обогащения и в целом на конечные результаты горно-металлургического производства в общем случае различны. Не одинаковы также и возможности горнодобывающего производства по обеспечению каждого из этих показателей, различны и затраты на их выполнение. Поэтому мерой оценки целесообразности включения в состав нормативного документа того или иного требования (и

их количественного значения) должен быть интегральный экономический показатель, соответствующий некой совокупности производств. В процессе оценки конкретного требования к качеству руды может оказаться необходимым суммирование затрат не только добычного и обогатительного производств, но также агломерационного, металлургического, а также - на транспорт руды и всех промежуточных продуктов.

Экономическую оценку требований к качеству продукции рудника (по их номенклатуре и уровню показателей) следует определять согласно следующим условиям:

1. Если изменение данного требования рассматривается лишь с позиций интересов рудника и обогатительной фабрики производств, то критерием оптимальности решения является минимум суммарных затрат только этих производств:

$$q_i = q_{opt} \text{ при } \sum C_{do} = C_d + C_o \rightarrow \min \quad (2.69)$$

Здесь q_i , q_{opt} - текущий и оптимальный уровень требования к показателю качества; C_d и C_o - соответственно, затраты на добычу и обогащение руды.

В графическом виде эта зависимость представлена на рис. 2.6, а, позволяющим оптимизировать эту задачу наиболее наглядно. Для этого производится графическое суммирование ординат каждой из кривых и устанавливается точка q_{opt} , соответствующая минимальным суммарным затратам.

2. Если же в результате принятия рассматриваемых требований происходит заметное изменение качества или себестоимости концентратов, что существенно повлияет на себестоимость или качество конечной продукции, то в расчётах следует учитывать затраты по всему горно-металлургическому комплексу:

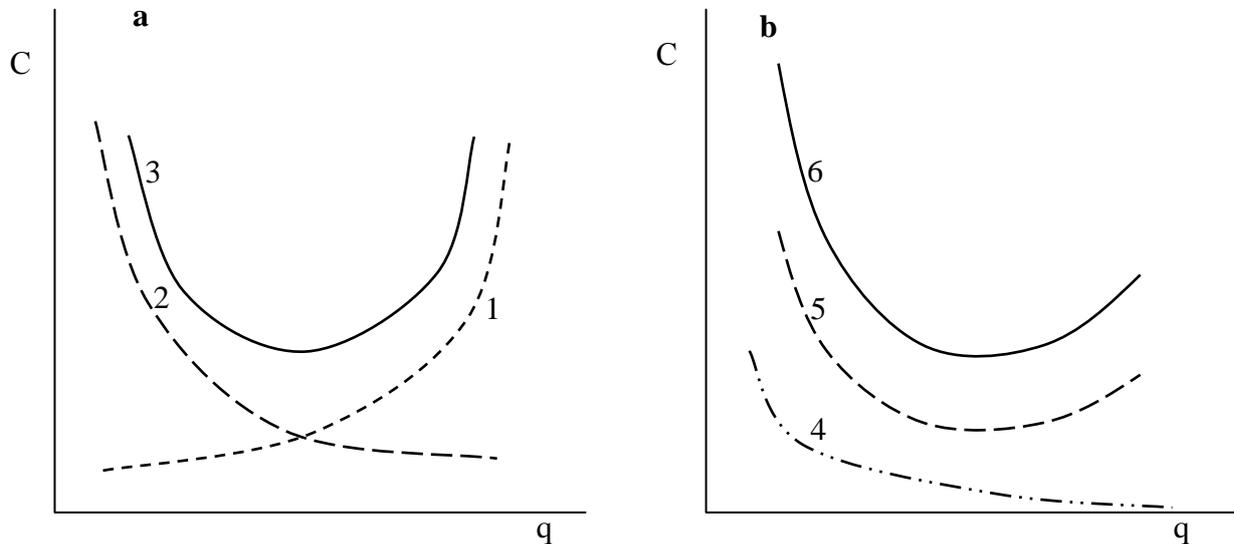
$$q_i = q_{opt} \text{ при } \sum C_{doam} = C_d + C_o + C_a + C_m + C_m = \sum C_{doam} + C_m \rightarrow \min \quad (2.70)$$

где $\sum C_{doam}$ - суммарные затраты на добычу, переработку и транспорт руды

и промпродуктов без металлургического передела

C_m – себестоимость металлургического передела.

Общий вид графика такой зависимости представлен на рис. 2.6, б.



а – «рудник – обогатительная фабрика»; б – «рудник – обогатительная и агломерационная фабрики – транспорт – промпродуктов – металлургические заводы». Кривые затрат на: 1 – добычу; 2 – обогащение; 3 – добычу и обогащение; 4 – металлургический передел; 5 – суммарные затраты на добычу, обогащение, агломерацию и транспорт промпродуктов; 6 – общие затраты

Рис. 2.6. Оптимизационные графики для производственных комплексов

В случаях, когда изменение требований качеству руды затрагивает не только текущие (эксплуатационные) расходы, но и требует определённых капитальных затрат, расчёты следует вести в соответствии с базовым критерием - чистый дисконтированный доход комплекса производств.

При большом разнообразии требований к качеству рудного сырья все эти требования необходимо ранжировать по уровню их значимости для горно-металлургического комплекса в целом, в том числе и для конкретных производств. Такое ранжирование необходимо для установления

приоритетности тех или иных требований в случаях возникновения противоречий между способами их осуществления.

Далее рассматриваются и способы обеспечения повышенных требований к качеству продукции горно-добывающих предприятий. Приводятся принципиальные организационные и технологические решения и основные методики обоснования их основных параметров при необходимости повышения массовой доли металлов в добытой руде, снижения в ней амплитуды колебания содержания основных металлов и регулирования кусковатости рудной массы.

Основные выводы

1. С позиции потребителей качество рудного сырья должно соответствовать определённому уровню содержаний полезных и вредных компонентов, минимуму их отклонений от средних значений в рудопотоке и однородности состава в каждом элементарном объёме. Не смотря на разнохарактерность этих требований, все они взаимосвязаны, поскольку | подчиняются общим количественно-качественным зависимостям.

2. Принципиально способы управления качеством руд можно разделить на разделительные (сепарационные) и смесительные (усреднительные). Первая группа способов используется для повышения концентрации полезных компонентов в рудной массе и для разделения её на сорта. Вторая - может использоваться для снижения амплитуды колебания содержания компонентов и повышения однородности химического или минералогического состава рудной массы. На основе этих принципов в диссертации предложена классификация способов управления качеством продукции рудников, отличающаяся от ранее предложенных, более глубокой дифференциацией объектов управления.

3. При формировании качества руды необходимо различать

управляющие действия в рудном массиве и с отбитой рудной массой. Главным управляемым фактором при воздействии на горный массив является разубоживание руды, напрямую влияющее на снижение природного качества руды и на изменчивость этого показателя в рудопотоке. При работе с отбитой рудой основным объектом управления качеством является соотношение компонентов рудной массы в каждом единичном её объёме.

4. С одной стороны, наиболее радикальный способ повышения качества продукции рудника это - создание подземного горно-обогажительного комплекса с полным циклом работ по добыче и первичной переработке руды. Однако функционирование таких производственных комплексов весьма затрудняется из-за взаимного отрицательного воздействия горного и обогажительного производств. В современных условиях разумным пределом такой интеграции является передача из обогажительных фабрик в рудники некоторых первичных (предварительных) функций улучшения качественных характеристик руды - первую стадию рудоподготовки, включающую крупное дробление, крупнопорционную и среднепорционную предконцентрацию, выделение типов и сортов руды, снятие наибольших отклонений содержания компонентов в рудной массе с формированием основных качественных характеристик рудопотоков к обогажительной фабрике.

5. Действенным средством изучения результатов предконцентрации рудной массы является моделирование этого процесса, основанное на выявлении количественно-качественных взаимосвязей с использованием численных характеристик, теории вероятности и компьютерных технологий. Предложенная в диссертация методология моделирования позволяет достаточно обоснованно прогнозировать результаты процесса предконцентрации при различных условиях её осуществления. Основные результаты моделирования выражаются в виде количественных показателей: выход и количество предконцентрата, содержание и масса в нём различных компонентов, выход, содержание и количество металла в отходах пред

концентрации.

б. Управление качеством продукции горнодобывающих производств должно быть системным. Общерудничная система управления качеством руды при добыче должна включать в себя следующие блоки: информационный, текущего и оперативного обоснования технологических и организационных решений, контроля качества, а также современного технического и технологического оснащения. Наиболее слабым звеном в ныне действующих рудниках является обеспечение управляющего персонала своевременной и достоверной информацией о качестве руды в различных пунктах технологической схемы рудника. Как следствие этого, вся существующая в рудниках система управления качеством не способна достаточно оперативно реагировать на изменчивую производственную ситуацию, в результате чего в значительной мере не используются потенциальные возможности рудников в части улучшения своей продукции.

Для эффективного действия информационно-управляющая система качества продукции рудника должна быть максимально взаимосвязана с технологической схемой рудника. При этом в существующую технологическую схему могут быть внесены определённые дополнения и коррективы, например, формирование обратного потока отходов предконцентрации в выработанное пространство, создание пунктов предконцентрации и усреднения рудной массы и др.

При создании и совершенствовании рудничной системы управления качеством руды необходимо объективно учитывать возможные противоречия в целях и способах управления, приоритетности требований. Увязывать их следует, основываясь на экономической значимости тех или иных показателей качества. При этом в технологической схеме рудника возникающие при этом разнохарактерные производственные операции должны быть разумно разведены по последовательности выполнения, например, вначале производится разделение по сортам руды, а затем усреднение внутри каждого сорта. Целесообразно при этом сосредоточить

большую часть работ по улучшению качества в общих пунктах управления (рудосортировочных, усреднительных). Критерием оптимальности принятия таких решений должен быть интегральный показатель минимума суммарных затрат на добычу и обогащение или чистый дисконтированный доход по всему комплексу горно-металлургического производства.

3. КОНЦЕПЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПРЕДКОНЦЕНТРАЦИИ РУДНОЙ МАССЫ ПРИ ПОДЗЕМНОЙ ДОБЫЧЕ РУД

3.1. Принципиальные положения по созданию рудничных технологий предконцентрации рудной массы

На эффективность технологии предконцентрации полезных компонентов в условиях подземного горнодобывающего производства оказывает влияние большое число факторов, в том числе - природных, технических, горно-технологических и, соответственно, экономических, основные из которых следующие:

1. Местоположение пункта предконцентрации рудной массы.
2. Крупность кусков или порций рудной массы, подвергаемых сепарации.
3. Контрастные характеристики компонентов рудной массы и способ их идентификации.
4. Способы разделения исходной рудной массы на предконцентрат и некондиционную её часть.
5. Наличие, состав и объём рудоподготовительных операций.
6. Ценность руды.
7. Система разработки.
8. Метод и параметры взрывной отбойки.
9. Способы выполнения производственных процессов доставки, внутрирудничного транспорта и подъёма руды.
10. Наличие и ёмкость блоковых (участковых) рудоспусков.
11. Наличие подземного дробильного комплекса.
12. Способ вскрытия и возможности для создания обратного направления потока некондиционной массы (в выработанное пространство).
13. Технологические возможности для утилизации некондиционной массы в выработанном пространстве рудника.

14. Технические и другие предпосылки для создания в будущем относительно дешёвых технологий извлечения из некондиционной утилизированной рудной массы полезных компонентов (например, путём выщелачивания или другими методами).

Главное отличие горнодобывающего производства от перерабатывающих состоит в его нестационарности, а также в высокой динамичности во времени и в пространстве. Это предопределяет необходимость организации работ по первичному улучшению качества сырой руды в весьма стеснённых условиях рудника при выполнении в нём специфичных производственных процессов - взрывной отбойки, управления горным давлением, а также доставки, транспорта, подъёма руды и пр.

Естественно, что включение в существующую технологию добычных работ любых других процессов, в той или иной мере, усложняет горное производство. С другой стороны, и для производственного процесса предконцентрации рудной массы, при введении его в традиционную технологическую схему добычи, появляются серьёзные затруднения.

При этом наряду с пространственной стеснённостью возникает и значительная зависимость от горных работ, их цикличности и ритма, а также появляются дополнительные сложности, а, часто, и практическая невозможность выполнения некоторых технологических операций (например, отмывки, механического дробления, грохочения и др.). В этих условиях, естественно, существенно труднее достичь тех показателей концентрации полезных компонентов, которые могли бы быть получены в условиях стационарного производства при обогатительной фабрике.

Конечно, по мере удаления пункта предконцентрации от очистных забоев происходит заметное облегчение организационных условий для работ по рудоконцентрации. Однако одновременно при этом наблюдается снижение контрастности характеристик рудной массы, что является следствием интенсивного перемешивания рудной массы при выпуске, погрузке, доставке, перегрузке, транспорте, механическом дроблении руды и

её подъёме.

Перемешивание рудной массы в процессе её добычи значительно ухудшает исходные технические условия для её сепарации. Как показывают наблюдения, даже без выполнения в руднике дополнительных мероприятий по стабилизации изменчивости показателей качества рудной массы, общий коэффициент усреднения по технологической схеме рудника составляет порядка 2-3,5.

При этом в наибольшей мере перемешивание рудной массы происходит при выпуске, перепуске, механическом дроблении и складировании. Поэтому процессы радиометрической сепарации рудной массы, осуществляемые в этих условиях должны быть технологически более сложными и глубокими чем, если бы они выполнялись сразу после отбойки, когда имеет место минимальное нарушение природных характеристик контрастности руды и отделяемой некондиционной массы.

При решении вопроса места размещения пункта рудоконцентрации необходимо учитывать и другое важное обстоятельство, заключающееся в том, что отделяемая из исходной рудной массы горная порода с содержанием полезных компонентов меньше про минимума при определённых условиях может быть утилизирована в выработанном пространстве рудника. Это, к тому же, позволяет снизить затраты на наиболее дорогостоящий процесс - закладку выработанного пространства.

Следовательно, чем раньше в технологической схеме рудника будут отделяться пустые породы и некондиционная руда, тем проще и дешевле будет их утилизация, т.к. большая часть некондиционной рудной массы уже на самом раннем этапе может быть исключена из дальнейшего производственного процесса. Это, в свою очередь, удешевит не только горные работы (закладку, рудничный транспорт и подъём, механическое дробление), но и сократит непроизводительные затраты в смежных производствах (транспорт от рудника к потребителям и складирование руды на поверхности). Если же в принципе - о целесообразности применении

рудоконцентрации перед её обогащением, то необходимо учитывать и сокращение наиболее весомой части непроизводительных затрат - на переработку некондиционной массы по всей совокупности обогатительного производства, включая хвостовое хозяйство.

При обосновании местоположения рудоразделительного пункта также весьма важно учитывать и то, что с организацией его на территории обогатительной фабрики появляется проблема снижения сквозного извлечения металлов из руды, поскольку в отходах предконцентрации теряется определённое его количество. В то же время, если эта же некондиционная рудная масса не поднимается из рудника, а будет после рудоконцентрации оставлена в недрах, причём так, чтобы в будущем её относительно несложно можно было бы оттуда извлечь, то такие рудные запасы, по существу, не являются потерянными. Соответственно, и показатели работы обогатительной фабрики при переработке предконцентрата будут однозначно выше, чем при обогащении исходной более бедной рудной массы.

Таким образом, с размещением пунктов предконцентрации рудной массы в руднике может способствовать успешному решению ряда серьёзных проблем, как самого рудника, так и обогатительной фабрики.

Другим фактором, в значительной мере определяющим технологическую и экономическую эффективность рентгенометрической предконцентрации, является размер кусков (или крупность порций рудной массы), подвергаемых разделению. При этом, чем меньше кусок или порция, тем достовернее оценивается содержание в них металла и в результате достигается более полное извлечение металла в предконцентрат. В этой связи наиболее результативные показатели предконцентрации соответствуют мелкокусовой сепарации (размер кусков - 150...+40 мм), а самые низкие – крупно порционному и средне порционному рудо разделению, когда порции равны ёмкости ковша ПДМ или транспортных сосудов. Вместе с тем, крупно порционная и средне

порционная технологии в ряде случаев могут быть вполне технологически и экономически оправданными. Например, они могут быть достаточно эффективными при первичной рудо- или породотборке в условиях, когда рудная масса достаточно контрастна или же она не имеет высокой ценности.

Степень контрастности свойств компонентов рудной массы, подлежащей рентгенорадиометрической сепарации, имеет одно из I важнейших значений для результатов рудо разделения. В условиях чёткой выраженности этих свойств (соответствующего скопления рудных минералов и их расположения относительно боковых пород) в достаточно крупных порциях исходной рудной массы, создаются благоприятные условия для их разделения. С повышением равномерности их размещения в пространстве (в объёме исходной рудной массы) требуется уменьшать единичные дозы рудной массы, подвергаемой селекции. Если зоны скопления рудных минералов или пустых пород таковы, что при кусковатости рудной массы равной $-150...+40$ мм не достигается достаточная контрастность свойств в соседних порциях, то рентгенорадиометрическая сепарация в этих условиях данным способом практически не осуществима.

Резюмируя это, можно сделать заключение о том, что подземная предконцентрация рудной массы предпочтительна при наличии относительно крупных скоплений рудных минералов или пустых пород, которые целесообразно разделять на самой начальной стадии технологической цепи: «добыча - обогащение», пока ещё не произошло более значительное перемешивание рудной массы.

Степень перемешивания рудной массы в процессе добычи зависит в первую очередь от технологии очистных и последующих работ в руднике и на дневной поверхности. Технология горных работ влияет на результаты рудоконцентрации, как непосредственно, так и опосредованно. Так, системы с закладкой выработанного пространства, камерные, с магазинированием, (ори которых временно или постоянно образуется свободное выработанное пространство) более предпочтительны для технологий с рудоконцентрацией,

системы с массовым обрушением руды и вмещающих горных пород.

К тому же, в первом случае чаще применяют шпуровую отбойку, обеспечивающую более мелкое дробление, чётче контуры отрыва руды от массива и относительно меньшее перемешивание руды с боковыми породами. На результативность технологии рудоразделения влияют также способ вскрытия и технологические схемы горных работ.

Итак, при создании подземных технологий с предконцентрацией и сортировкой рудной массы должны в должной мере учитываться следующие горно-технологические факторы:

- система разработки и её параметры, включающие (кроме порядка отработки очистных блоков и выемки в самих блоках) конструкцию блоков, метод отбойки, способы доставки и поддержания выработанного пространства, наличие рудоспусков, очистных камер, пригодных для утилизации отходов рудоконцентрации и др.;

- способ вскрытия, который непосредственно связан со способами рудничного транспорта и подъёма руды и характеризуется наличием и рабочими параметрами подземного дробильного узла, возможностью создания обратного потока некондиционной части рудной массы к выработанному пространству и др.;

- общая технологическая схема добычи, включающая кроме очистных работ, также все последующие процессы и операции с рудой вплоть до отправления её потребителю.

Естественно, что все эти факторы связаны между собой и зависят от геологических и горнотехнических условий разработки месторождения.

От системы разработки зависят, наряду с отмеченными выше, важнейшие элементы технологии подземной предконцентрации - кусковатость рудной массы, степень её усреднения (смешанности) после выемки из забоя, наличие свободного пространства для размещения сепарационного оборудования, наличие отработанных камер или другого выработанного пространства, необходимого для утилизации отходов

предконцентрации. В этой связи для подземной предконцентрации предпочтительнее системы разработки — камерные, с различными способами закладки, с магазинированием с открытым выработанным пространством (в том числе, сплошная, камерно-столбовая).

Способы вскрытия и подготовки горизонтов определяют очень важную часть технологической схемы предконцентрации - наличие и степень возможности для организации потока отходов предконцентрации в обратном направлении, т.е. к отработанным камерам, выработанному пространству и другим пустотам рудничного поля.

И, наконец, есть ещё одно и далеко не последнее по значению условие успешного применения в горнодобывающем производстве предконцентрации или любого другого способа управления качеством руды. Это есть необходимость сохранения достаточно высокого темпа горных работ при внесении изменений и дополнений в существующую технологию.

Работы, вновь вводимые в технологическую схему рудника, не должны замедлять скорости продвижения забоев и времени отработки очистных блоков (панелей). Такое требование вытекает не только из необходимости обеспечения максимального использования дорогостоящего горного оборудования, но и является важным условием производительного, экономичного и безопасного горного производства в целом.

Итак, обобщая всё выше сказанное, при формировании разделительных технологических схем для условий конкретных рудников следует руководствоваться следующими принципиальными положениями:

1. Пункты рудоконцентрации, учитывая возрастающее перемешивание рудной массы при последующих производственных процессах добычи, следует стремиться располагать как можно ближе к очистным забоям, блокам, панелям.

2. Порции (дозы), в объёмах которых производится разделение рудной массы, должны быть минимально возможными для конкретных условий.

3. В свою очередь, в производственных процессах добычных работ

должны быть, по возможности, полно учтены требования предконцентрации. При этом следует избегать не только превышения крупности кусков рудной массы, но и её переизмельчения.

4. Предельное содержание полезных компонентов в отходах предконцентрата должно быть, в основном, менее бортового, но выше порогового содержания для обогащения.

5. Как правило, следует стремиться к одностадийному процессу разделения, устанавливая минимальный объём подготовительных операций (механическое дробление, грохочение, отмывка) и исключая химизацию этого процесса в подземном пространстве. Химические и биологические воздействия на рудную массу возможны при специальных технологиях, создаваемых для доизвлечения полезных компонентов из утилизированных в недрах отходов предконцентрации, в том числе в технологиях с подземным выщелачиванием.

6. Необходимо стремиться к максимальному размещению пустых пород, а также некондиционной рудной массы в подземных выработках и в выработанном пространстве. При этом необходимо создавать на будущее достаточно благоприятные условия для извлечения этих некондиционных техногенных запасов или для их переработки в местах складирования.

7. Работы в руднике, связанные с формированием качества добытой руды, как правило, не должны снижать темпов развития горных работ. Это особенно важно, если эти работы могут оказать существенное влияние на результаты управления состоянием массива горных пород.

8. Главным критерием эффективности технологической схемы с разделением рудной массы должен быть интегральный экономический показатель, учитывающий, как минимум, интересы комплекса производств: «добыча - транспорт - складирование некондиционной руды и пустых пород на поверхности - обогащение».

3.2. Классификация рудничных технологических схем добычи с предконцентрацией рудной массы

Эта классификация имеет целью систематизировать существующие и принципиально возможные сочетания средств и способов рентгенорадиометрической сепарации, осуществляемых в горных выработках с целью повышения содержания полезных компонентов в продукции рудника (в добытой руде). Ниже представлена предлагаемая классификация технологических схем рудничной предконцентрации рудной Массы (табл. 3.1), базирующаяся на следующих признаках:

- крупность кусков или порций сепарируемой рудной массы;
- местоположение в технологической схеме рудника пункта (или целого комплекса) предконцентрации;
- основные технологические характеристики рудника, влияющие на технологию предконцентрации.

В отличие от ранее предлагавшихся систематизации технологических схем в данной классификации учтено наибольшее число самых значимых признаков. Основные технологические характеристики рудника, такие как система разработки, способ вскрытия, общая технологическая схема рудника и др. учтены в классификации косвенными признаками (типом и мощностью горного оборудования, составом производственных процессов добычных работ, условиями для утилизации минеральных отходов, кусковатостью рудной массы).

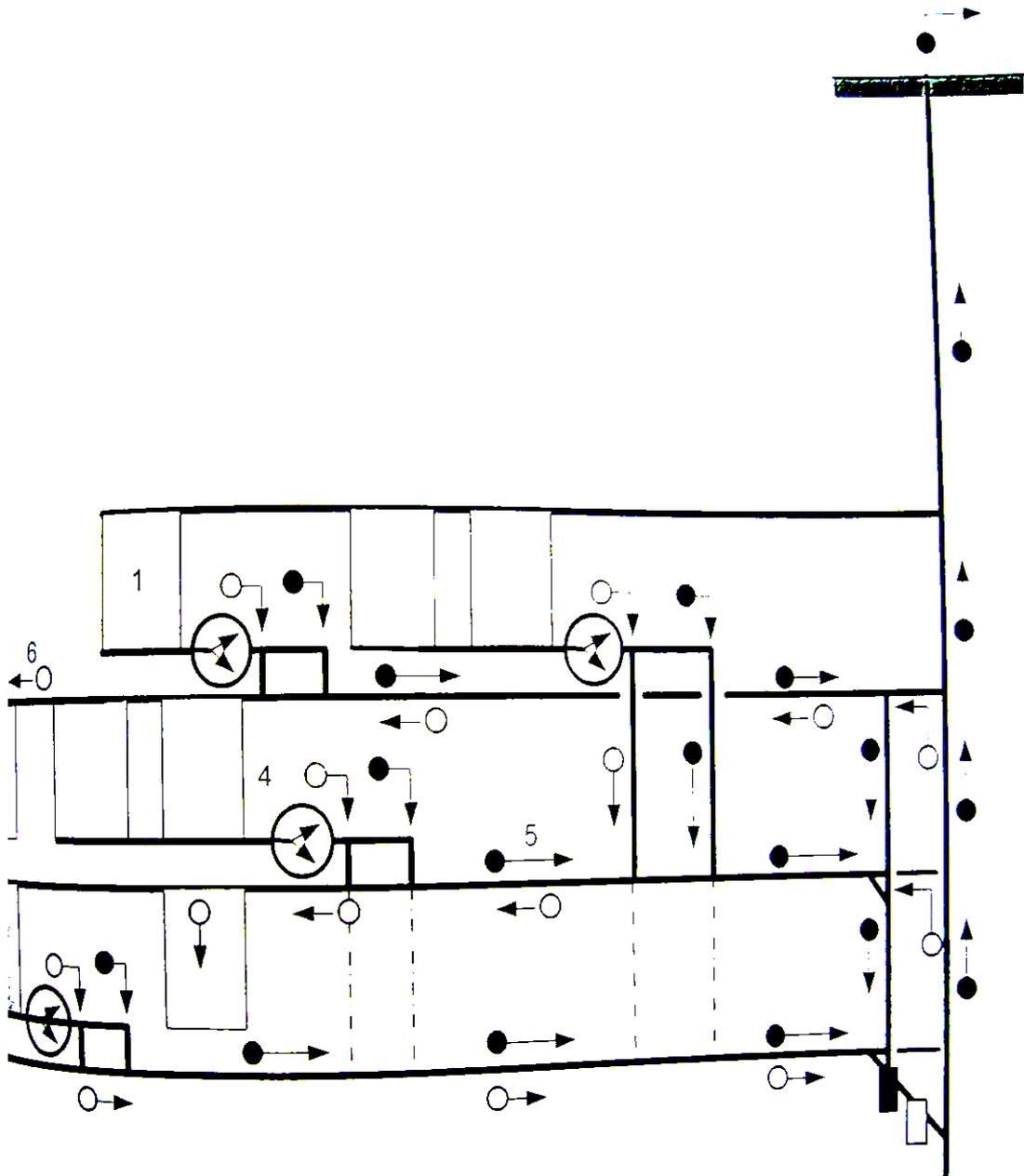
Влияние технологии горных работ на технологическую схему рудоконцентрации чётко проявляется на рис. 3.1, где показан основной комплекс добычных работ с призабойной и участковой предконцентрацией рудной массы. Понятно, что такая технологическая схема возможна только при системах разработки с открытым выработанным пространством, с закладкой, магазинированием либо с камерной выемкой.

Классификация рудничных технологических схем предконцентрации рудной массы

№ п/п	Классификационные признаки	Характеристики и индексы технологических схем
1.	Пункты размещения узлов предконцентрации; (М)	Призобойная; (М-1) Участковая; (М-2) Приконцентрационная; (М-3) Околоствольная; (М-4) Приповерхностная; (М-5)
2.	Размер порций и кусков рудной массы; (А)	Крупнопорционная; Q=5...20 т (А-1) Среднепорционная; Q=0,1...5 т (А-2) Мелкопорционная; Q=50...100 кг (А-3) Покусковая; D=-200+40 мм (А-4)
3.	Кусковатость рудной массы; (К)	Крупнокусковая с $D \geq 300$ мм; (К-1) Среднекусковая при $300 \geq D \geq 150$ мм; (К-2) Мелкокусковая с $D \leq 150$ мм; (К-3)
4.	Тип оборудования; (О)	ПДМ и транспортные средства с аппаратами оперативного контроля; (О-1) ПДМ и транспортные средства с аппаратами оперативного контроля; (О-2) Сепараторы порционные; (О-3) Сепараторы покусковые; (О-4)
5.	Состав подготовительных операций; (П)	Без подготовки рудной массы; (П-1) С разделением на классы крупности, без отмывки рудной массы; (П-2) С разделением на классы крупности и с отмывкой (П-3)
6.	Способ утилизации отходов; (У)	В выработанном пространстве в качестве закладочного материала; (У-1) В отработанных камерах с созданием магазинов (склады временного хранения); (У-2) В выработанном пространстве и в камерах для подземного выщелачивания; (У-3) На поверхности шахты в складах некондиционной руды, в т.ч. для кучного выщелачивания; (У-4)

Причём для утилизации отходов рудоконцентрации необходимы такие способы и параметры вскрытия, при которых было бы возможным создание обратных грузопотоков (некондиционной рудной массы и пустых пород). При этом и система разработки и способ вскрытия должны обеспечивать на будущее технологические возможности при минимуме затрат, для доступа и вторичной разработки или химической переработки этих техногенных запасов. Согласно данной технологической схеме предконцентрат поднимается на поверхность, а некондиционные отходы закладываются в отработанные камеры. Соответственно, должна быть полная конструктивная

и организационная увязка технологий добычи и рудоконцентрации. При системах с обрушением налегающих горных пород возможностей для поземной утилизации горных пород существенно меньше.



1 – очистной блок; 2 – отработанная камера; 3 – разделительная камера; 4 – поток предконцентрации; 5– отходы предкоцентрации; 6 – штабель предконцентрата

Рис. 3.1. Принципиальная технологическая схема с призабойным и участковым разделением рудной массы и утилизацией отходов в отработанных камерах

Определённое сочетание классификационных признаков (табл. 3.1) предопределяет конкретную технологическую схему с характерными для неё показателями. Так, аббревиатура: «П2-М1-К1-02-Р1-У3» означает среднепорционную, призабойную технологическую схему с применением ковшевой погрузочно-доставочной машины и средств оперативной идентификации качества крупнокусковой рудной массой, которая не подвергается предварительному дроблению и грохочению; отходы предконцентрации складированы в выработанных камерах и подлежат в дальнейшем подземному выщелачиванию.

3.3. Рудничные технологические схемы предконцентрации рудной массы

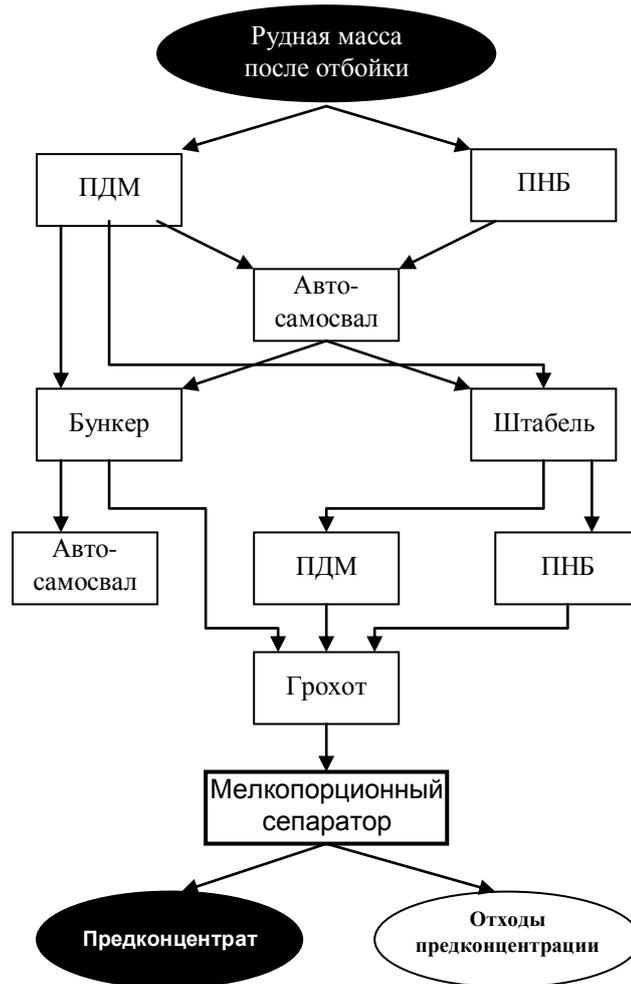
Ниже, в соответствии с классификацией (табл. 3.1) рассмотрены основные варианты технологических схем рудо концентрации, адаптированных в технологию горнодобывающего производства.

Технологические схемы с крупнопорционной (А-1) и среднепорционной (А-2) предконцентрацией рудной массы.

К их числу относятся сравнительно простые технологические схемы, в которых используется в основном обычное добычное оборудование с внесением в организацию его работы некоторых дополнительных функций. Осуществляемый при этом процесс, по аналогии с ручной операцией, называется породотборкой либо рудотборкой. Нередко его также называют рудосортровкой, что не совсем правильно, поскольку «сортировка» это - разделение продукта по сортам и, следовательно, рудосортировка представляет собой комплекс работ (операций) по разделению исходной рудной массы на типы и сорта руды. Выполняется рудосортировка в случаях наличия нескольких потребителей с разными требованиями к руде или при необходимости переработки нескольких типосортов руды на одной обогатительной фабрике, но с неодинаковыми технологиями. В настоящей

книге термин «рудосортировка» применяется в соответствии с его сущностью.

Для выявления наиболее полного состава возможных вариантов технологий крупно - и среднепорционного разделения рудной массы составлена блок-схема (рис. 3.2, а), включающая применяемые технические средства и последовательность технологических операций, осуществляемых при предконцентрации и рудосортировке в условиях рудника



а – крупно- и среднепорционная предконцентрация;

б – мелкопорционная предконцентрация

Рис. 3.2. Технический состав и порядок выполнения операций при различных способах предконцентрации

Возможно несколько сочетаний доставочно-транспортного оборудования с рудоконтролирующей станцией (РКС), оснащённой

рентгенорадиометрической аппаратурой для оперативной идентификации кондиционной и некондиционной рудной массы в объёме ковша погрузочно-доставочной машины (ПДМ), кузова автосамосвала или вагона. При этом наиболее простой является технологическая схема, состоящая из ПДМ и РКС. При относительно большой дальности доставки в технологическую схему дополнительно подключаются средства рудничного транспорта. Будучи наиболее простыми и соответственно наименее затратными, крупно- и среднепорционные технологии создают и самый низкий эффект разделения рудной массы излучений с созданием более глубокого проникновения в рудную массу γ -лучей. У этой технологической схемы возможны и другие варианты, например, с созданием (вместо вертикальных выработок) промежуточных штабелей обогащенной и некондиционной рудной массы.

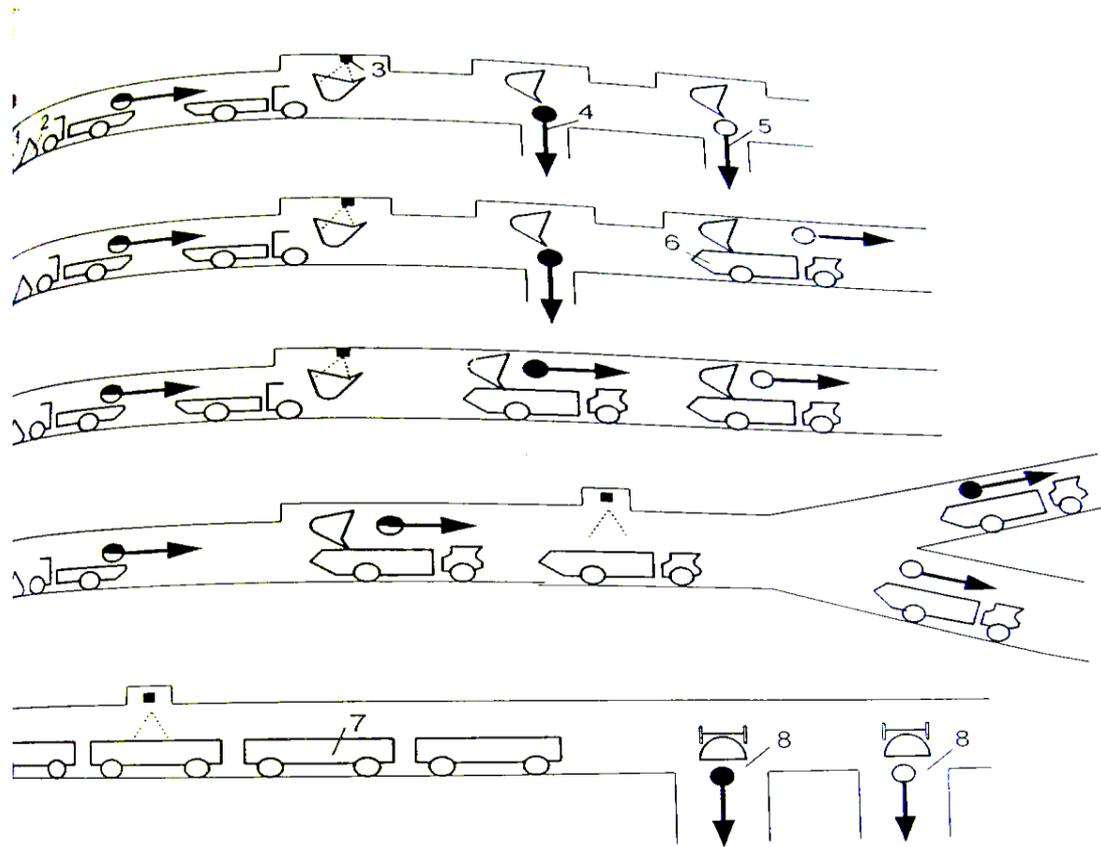
В технологические схемы 3.3, б и 3.3, с дополнительно включены автосамосвалы, что имеет смысл при относительно больших расстояниях доставки.

Технологические схемы 3.3, д и 3.3, е отличаются от предыдущих тем, что опробование рудной массы производится не в ковше ПДМ, а в кузовах автосамосвалов и вагонов. Это повышает интенсивность горных работ, но, соответственно, снижает эффективность рудоразделения.

Технологические схемы с мелкопорционной сортировкой (А-3)

Технической базой формирования такого типа технологических схем являются специальные мелкопорционные сепараторы, способные нормально функционировать в условиях рудника. Пока на практике не существуют действующие машины такого типа, но имеются лишь их проектные проработки. Вместе с тем, есть объективная необходимость создания таких аппаратов для использования их внутри и на поверхности рудников. Формируемый на этой основе класс технологических схем рудоконцентрации должен перекрыть обширную область между среднепорционными и

покусовыми технологиями. Практически, в настоящее время для данной области, т.е. между крупностью порции соответствующей куску с максимальным объёмом 0,08 м (l=200мм) и порцией, равной минимальной ёмкости ковшей ПДМ (1,0-3,0 м), нет реальных технических средств сепарации рудной массы.



а – с поковшовойым разделением и доставкой богатой и кондиционной рудной массы; б – с поковшовойым разделением рудной массы и автомобильной доставкой некондиционной её части; в – с поковшовойым разделением и автомобильной доставкой компонентов рудной массы; д – с помашинным разделением и доставкой рудной массы; е – с повагонным разделением рудной массы; 1 – рудная масса в навале; 2 – ковш ПДМ; 3 – рентгенорадиометрический аппарат; 4 – поток предконцентрата; 5 – поток некондиционной массы; 6 – кузов автосамосвала; 7 – кузов вагона; 8 – пункты разгрузки вагонов в бенкеры околоствольного двора

Рис. 3.3. Средне – (а, б, в) и крупнопорционные (д, е) технологические схемы разделения рудной массы

Блок-схема наиболее вероятных сочетаний технического оборудования и технологических операций, связанных с мелкопорционным разделением рудной массы, приведена выше на рис. 3.2, в.

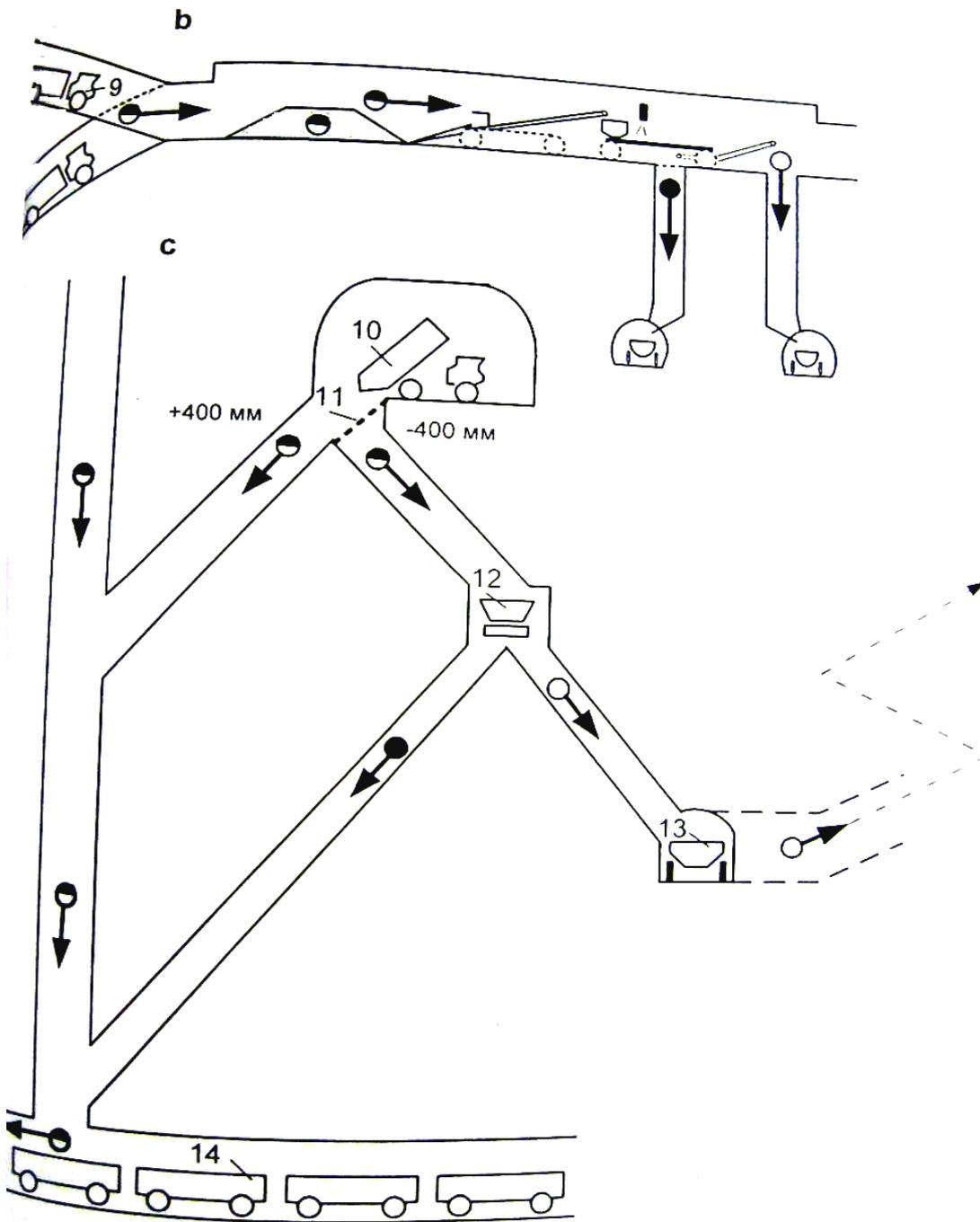
Из блок-схемы видно, что по сравнению с предыдущим классом, здесь заметно расширяется номенклатура применяемого горного и рудоподготовительного оборудования. Так, появляются варианты технологий с применением погрузочно-доставочных машин непрерывного действия (типа ПНБ), а также в технологическую схему вводятся промежуточные (накопительные) бункерные и штабельные ёмкости рудной массы, грохоты (виброгрохоты) и, естественно, мелкопорционные сепараторы.

Создание промежуточных ёмкостей для рудной массы, безусловно, несколько усложнит процесс разделения рудной массы из-за дополнительного её перемешивания, но это действие необходимо для обеспечения независимого функционирования разделительного пункта и очистных работ в блоке.

Более того, за счёт создания небольшого буферного штабеля рудной массы на относительно небольшом расстоянии от забоя, создаются более благоприятные условия для быстрой выемки отбитой руды и освобождения забоя для выполнения нового цикла бурения шпуров (скважин) и других операций очистных работ. Тем самым выполняется одно из важнейших требований горнодобывающего производства в части сохранения высоких темпов продвижения горных работ.

Технологические схемы этого класса предназначены для использования, главным образом, в призабойных горных выработках, а также в участковых пунктах предконцентрации.

Основные типовые инструктивные решения по этим технологическим схемам приведены на рис. 3.4.



а – призабойная; б – участковая; с – этажная (при капитальном рудоспуске)

Рис. 3.4. Технологические схемы с мелкопорционным рудоразделением

Так, на рис. 3.4, а показана призабойная технологическая схема с I применением ковшовых ПДМ, погрузочных машин типа ПНБ и передвижного мелкопорционного сепаратора. В процессе функционирования такой технологии создаётся буферный штабель рудной массы, способствующий быстрому освобождению очистного забоя (блока) от

отбитой руды.

Кроме того, при этом формируются временные штабели обогащенной и некондиционной рудной (рис. 3.4, б). Эта схема, сохраняя принципиальные признаки предыдущей, является участковой схемой, т.к. Предназначена для работы с несколькими очистными единицами. Для её нормального функционирования, как правило, необходимы рудо- и породоспуски с достаточной ёмкостью бункеров.

Один из вариантов мелкопорционного рудоразделения показан на рис. 3.4, с. Особенность этой технологии в том, что она привязана к капитальному рудоспуску и предконцентрации подвергается не вся, а лишь часть рудной массы. Через рудоразделительную станцию пропускаются лишь относительно мелкие фракции рудной массы идущей, например, из очистных забоев (блоков) с повышенной засорённостью руды. Устье капитального рудоспуска или его приёмных рукавов оборудуется грохотами и гидравлическими бутобоями (рис. 3.5).

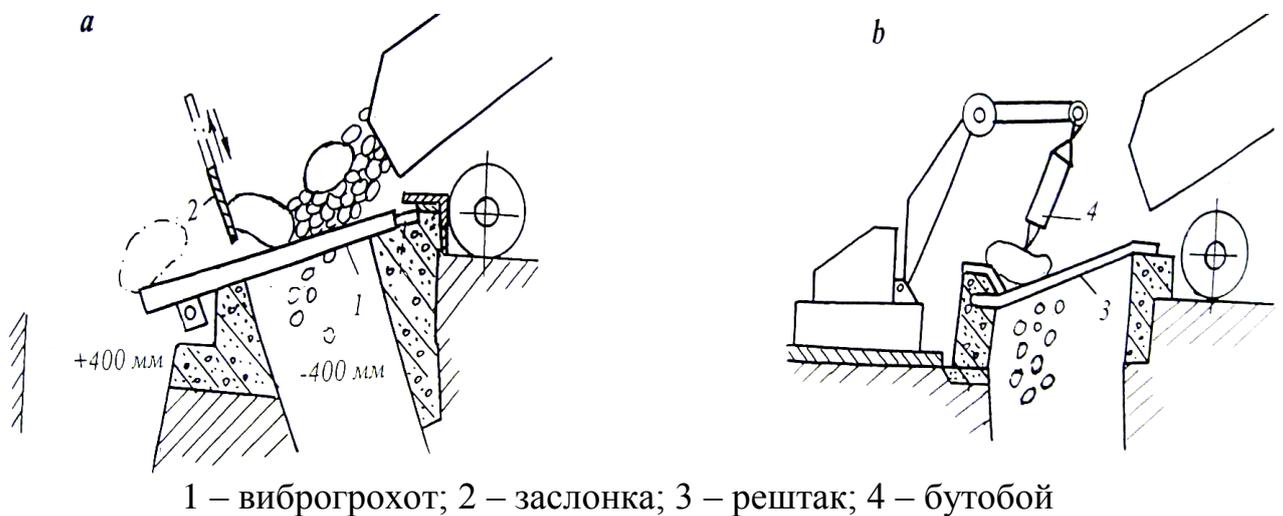
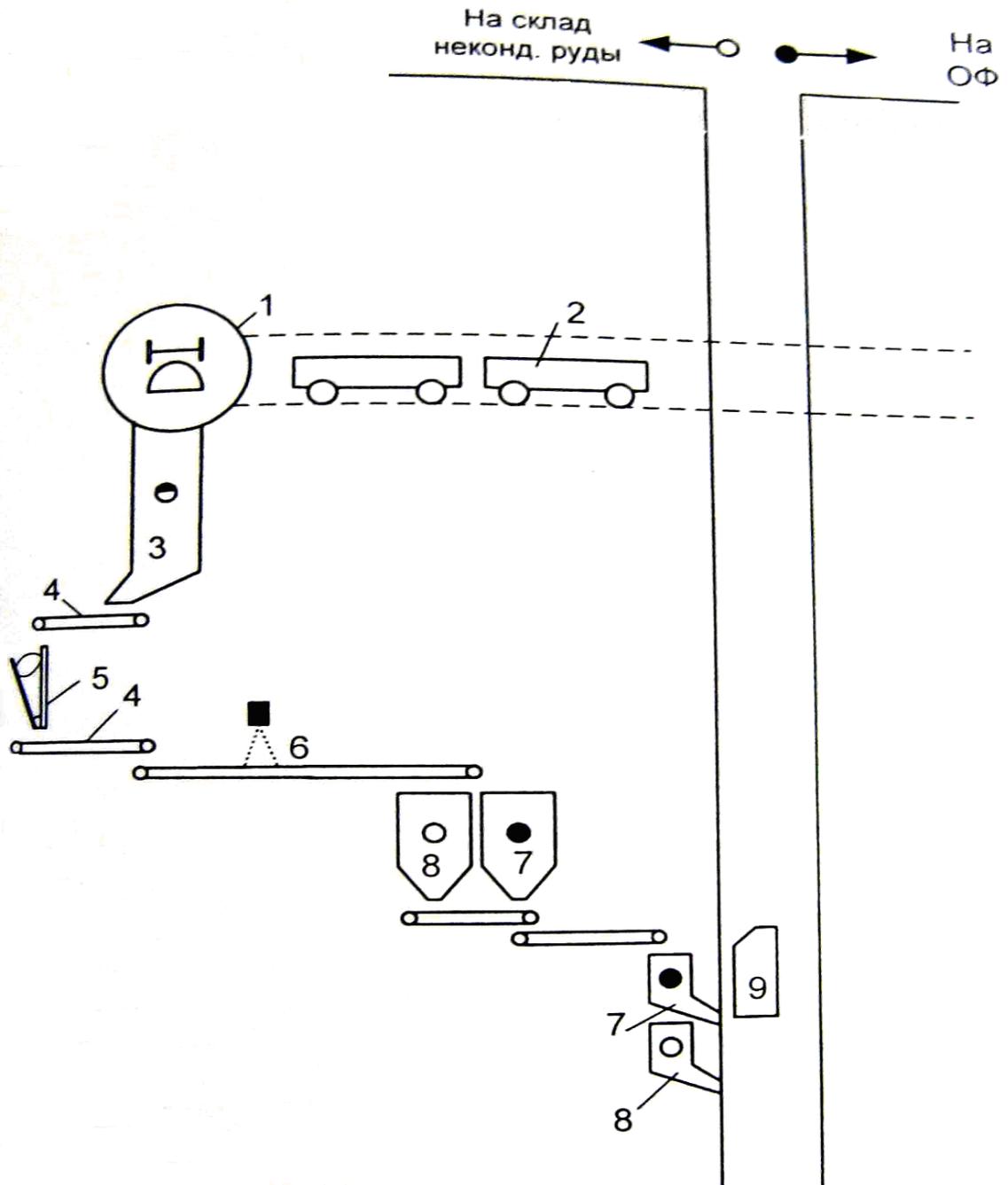


Рис. 3.5. Конструкционные решения по оборудованию устьев рудоспусков

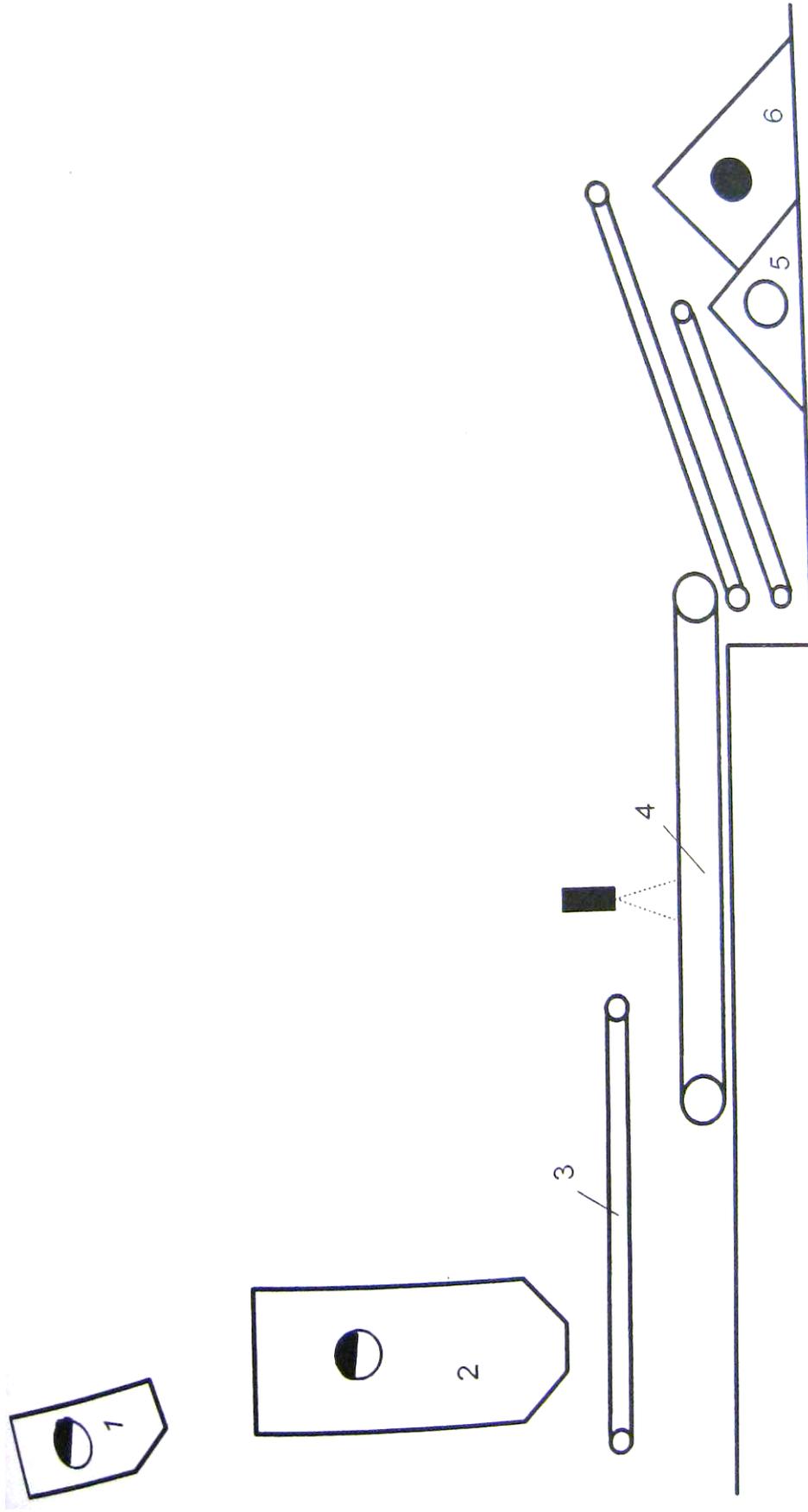
Рис. 3.6 иллюстрирует мелкопорционную технологию у шахтного ствола с выдачей отходов рудоразделения на поверхность шахты в скипах. Эта технология, при определённых условиях, может быть модернизирована с ; созданием породопотоков в выработанное пространство. В определённых

условиях возможны и варианты создания пунктов мелкопорционной рредконцентрации на поверхности у ствола шахты (рис. 3.7).



1 – опрокидыватель; 2 – вагон; 3 – бункер рудной массы; 4 – питатель;
5 – дробилка; 6 – сепаратор; 7, 8 – бункер предконцентрата; 9 - скип

Рис. 3.6. Мелкопорционная предконцентрация у шахтного ствола с выдачей отходов на поверхность



1 – скип; 2 – бункер; 3 – питатель; 4 – сепаратор; 5 – отходы предконцентрации; 6 – штабель предконцентрага

Рис. 3.7. Мелкопорционная предконцентрация на поверхности у ствола шахты

Естественно, что эти принципиальные (типовые) технологические немы могут модифицироваться в соответствии с конкретными условиями эксплуатации.

Технологические схемы с покусковой сепарацией (А-4)

Эти технологические схемы соответствуют технологиям внутрирудничного рудоразделения с наиболее глубоким извлечением полезных компонентов. С их применением в руднике ставится цель выделения порядка 40...60% некондиционной части рудной массы, что теоретически соответствует повышению содержания полезного компонента в товарной руде вдвое.

Технологические схемы этого класса предназначены, главным образом, для использования в стационарных и полустационарных условиях, что предопределяет их размещение на концентрационном горизонте в районе капитального рудоспуска, а также в горных выработках околоствольного дворе или на поверхностном комплексе рудника. Но в ряде случаев может оказаться целесообразным формирование относительно упрощённых аналогий с покусковой сепарацией в участковых и даже (при относительно благоприятных условиях) в призабойных пунктах. Техническая возможность для создания таких полустационарных и передвижных пунктов покусковой предконцентрации подкрепляется реальным ассортиментом дробильных установок, питателей и грохотов.

Так, передвижной дробильный агрегат американской фирмы «Игл I Кратер» смонтирован на раме с 16 пневмоколёсами и состоящий из нескольких отдельно транспортируемых узлов. Агрегат включает в себя, кроме наклонно расположенной щековой дробилки с приёмным отверстием №1220 мм, пластинчатый питатель, виброгрохот и разгрузочный конвейер. Общая длина установки 15,2 м, ширина 2,54 и высота 2,8 м. Высота установки разгрузочного конвейера 1,9 м, а приёмного бункера 1,4 м. При

этом высота загрузки изменяется от 1,45 до 2,72 м. Установка может втуатироваться в камерах и горизонтальных горных выработках высотой более 3,3 м. Во время успешно проведённых промышленных испытаний дроблению подвергалась медная руда, тектониты и известняки с размерами кусков до 900 мм в поперечнике. При этом была достигнута производительность агрегата до 350 т/ч.

Ряд зарубежных фирм выпускают различные модификации питателей-дробилок, которые могут быть использованы в стационарных и полустационарных подземных рудоразделительных технологиях. В основном это питатели-дробилки фирм «Стамлер» (США), «Стефандаз» (Франция), «Вестфалия Люнен» (Германия) и др.

Питатели-дробилки состоят из приёмного бункера, дробилки, механизмов подачи кусков материала в дробилку и доставки дроблённой массы к перегрузочному пункту. В качестве транспортирующего органа обычно используется скребковый конвейер. Питатель-дробилка фирмы «Вестфалия Люнен» оборудуются роторными или горизонтальными шековыми дробилками. Наиболее распространены на современных рудниках питатели-дробилки этой фирмы серии WB-14. Они имеют следующие параметры: длина - 15,5 м; ширина - 3,5 м; высота 1,8-2,5 м; Ширина приёмного отверстия дробилки - 1100x1300 мм; ширина разгрузочного отверстия регулируется в пределах 40-400 мм; мощность двигателя 55-132 кВт; масса агрегата – 30-33 т.

В России, также имеются дробилки, которые можно использовать в подземных условиях. Например, среди дробильных установок, созданных в ОАО «Механобр-техника», есть такие, которые можно монтировать на платформе шахтной вагонетки или на пневмоколёсных шасси с целью их мобильного использования в подземных условиях.

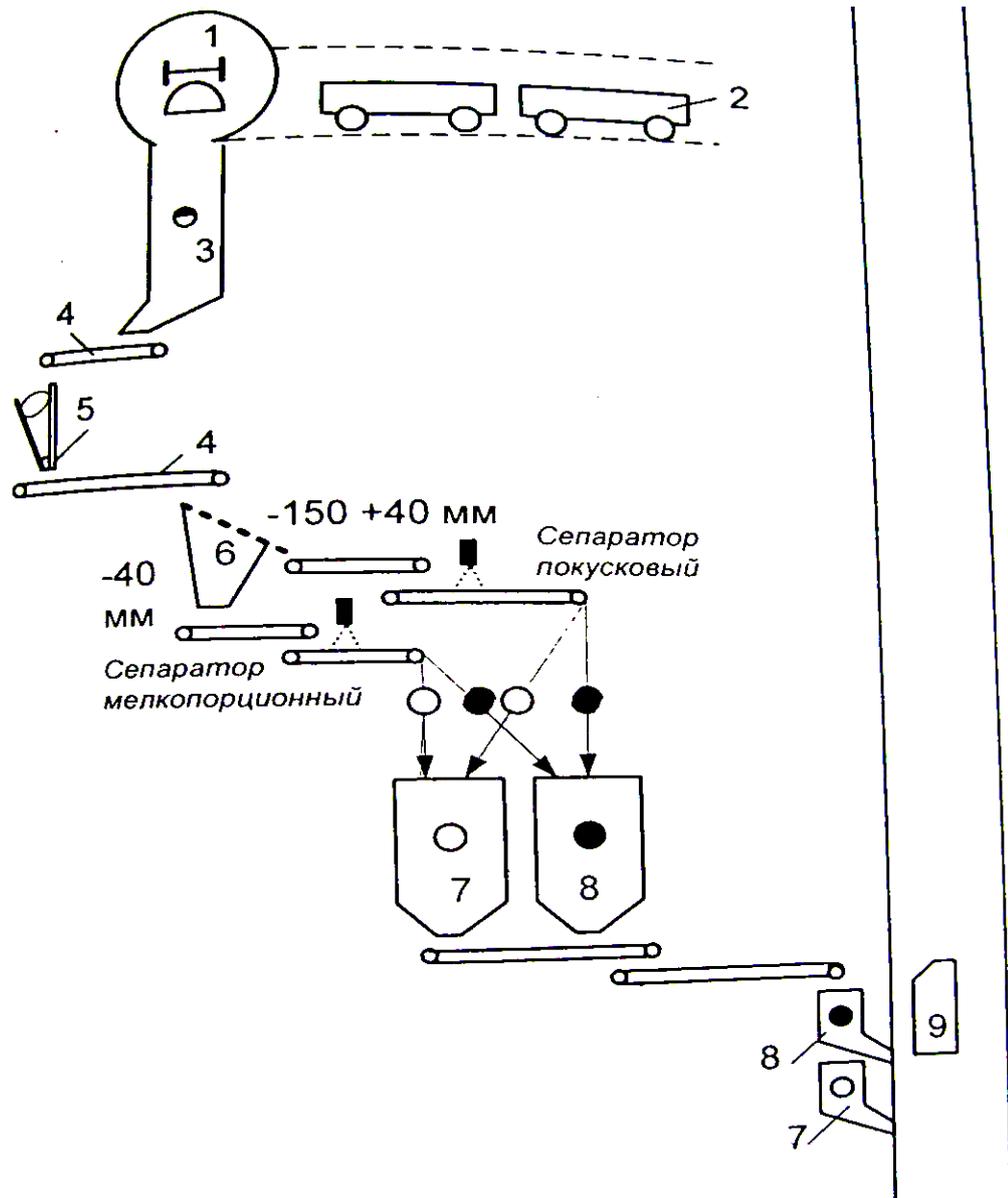
Кроме дробления, другой важной операцией в технологиях с покусковой предконцентрацией является грохочение, обеспечивающее разделение рудной массы по фракциям крупности и устранение резких

различий в размерах кусков во фракциях, которые направляются в сепараторы.

Для грохочения в подземных условиях могут быть использованы многие из серийно выпускаемых отечественных и зарубежных установок, в том числе виброгрохоты-питатели. Это оборудование может быть установлено перед дробилкой для равномерной загрузки и отделения крупных фракций рудной массы от более мелких. Такой же агрегат, всполощенный после дробилки, осуществляет разделение рудной массы на сепарационный класс и мелочь.

Вариантов технологических схем с покусковой сепарацией может быть больше, чем в предыдущих классах, поскольку они включают в себя большее число типов применяемого оборудования и производных от них сочетаний способов выполнения различных операций. При этом нередко используются двухстадийное грохочение и дробление материала. В составе этих технологических схем, наряду с доставочно - транспортными средствами рудников, находятся также стационарные и полустационарные дробилки, грохоты, питатели, комплект оборудования для отмывания загрязнённого материала и другое оборудование с достаточно высокими функциональными характеристиками.

Конечно, самые глубокие результаты рудоконцентрации в руднике могут быть достигнуты при размещении комплекса сепарации в околоствольном дворе или на промплощадке, т.е. в наиболее стационарных условиях. Но при этом исходная рудная масса, поступающая на переработку, приобретает относительно меньшую контрастность, что требует применения более сложных технологий разделения.



1 – опрокидыватель; 2 – вагон; 3 – бункер рудной массы; 4 – питатель; 5 – дробилка; 6 – виброгрохот с бункером; 7 – бункер предконцентрата; 8 – бункер отходов предконцентрата; 9 – скип

Рис. 3.8. Покусковая сепарация рудной массы в околоствольном дворе

Выполнение разделительного процесса на более ранних стадиях горного производства (например, на участковых пунктах рудоконцентрации) технологически проще и сопряжено с меньшими материальными и трудовыми затратами. В случаях же экономического подтверждения необходимости дислокации пункта сепарации рудной массы в

околоствольном дворе или на промплощадке рудника, то такую технологию имеет смысл объединять с дробильным, складским и усреднительным комплексами в рамках общего цеха формирования качества руды. Создание такого сравнительно мощного рудоподготовительного производства при горнодобывающем предприятии может быть тем более актуальным, чем дальше от рудника расположены непосредственные потребители его продукции (обогащительные и агломерационные фабрики и др.). Один из вариантов технологической схемы с покусковой сепарацией при дробильно-сортировочном узле околоствольного двора приведен на рис. 3.8.

Основные выводы

1. С включением предконцентрации в технологию подземной Добычи руды происходят изменения не только в технологической схеме рудника, но меняются формы и содержание самого процесса предконцентрации. При этом технические средства сепарации и контроля качества должны быть адаптированы к условиям горных работ.

2. В технологической схеме рудника, в связи с многократным перемешиванием, после выполнении каждого последующего производственного процесса происходит существенное снижение значения природной контрастности рудной массы. Следовательно, в начале технологической схемы разделение руды и засоряющих горных пород возможно относительно простыми средствами. Соответственно, при размещении пункта предконцентрации рудной массы в конце технологической схемы рудника, а тем более за пределами рудника, необходимы более сложные технические средства и технологические решения в части сепарации.

3. С другой стороны, привнесение в добычные работы операций по разделению компонентов рудной массы (руды и разубоживающих горных пород) создаёт дополнительные сложности для горного производства. В

наибольшей мере эти сложности проявляются на стадии очистной выемки. Но при приближении пункта предконцентрации к очистным забоям упрощаются и удешевляются работы по утилизации отходов предконцентрации. При этом некондиционные руды (в том числе и отходы предконцентрации, содержащие полезные компоненты) целесообразно складировать в руднике, лучше сохраняя их тем самым для извлечения в будущем.

4. Важным доводом в пользу передислокации пунктов предконцентрации рудной массы из обогатительной фабрики в технологическую схему рудника является то обстоятельство, что при этом может быть снята проблема снижения сквозного извлечения металла из добытой руды в обогатительном процессе.

5. В работе сформулированы принципиальные положения, которыми следует руководствоваться при создании технологии добычных работ с подземной предконцентрацией рудной массы, включающие: место дислокации разделительных пунктов, массу порций, предельные содержания металлов, стадийность процесса предконцентрации, утилизацию отходов, соблюдение интересов горно-добычных работ и критерии эффективности.

6. В предложенной классификации технологических схем добычи с предконцентрацией рудной массы основными классификационными признаками являются крупность порций (кусков) рудной массы, местоположение пункта предконцентрации, способ рудоподготовки, тип и рабочие параметры горного оборудования, а также возможный способ утилизации отходов.

7. Технологические схемы с крупно- и среднепорционной предконцентрацией относятся к числу сравнительно простых, в которых применяется, в основном, горно-добычная техника и наиболее простые рентгенорадиометрические средства оперативного контроля состава рудной «весы. Рациональное место проведения таких работ – околзабойное пространство.

8. Технология с мелкопорционной предконцентрацией способна обеспечить более высокие показатели по качеству разделения рудной массы, чем крупно- и среднепорционное. Такую технологию целесообразно применять в блоковых (панельных) и участковых разделительных пунктах. Для её осуществления необходимы специальные мелкопорционные сепараторы, конструкции которых разработаны. При такой технологии возможно создать условия для максимально независимой работы очистного оборудования (бурового, ПДМ) от сепаратора путём формирования буферного объёма рудной массы вблизи забоя. Такая технология не только не снижает темп продвижения фронта горно-добычных работ, но и имеет резервы для его увеличения,

Наибольшие сепарационные возможности имеются у технологических схем с покусковым разделением рудной массы. Однако для таких технологических схем обычно нужны относительно стационарные условия размещения, например, при капитальном рудоспуске, в (околоствольном дворе или на поверхности рудника. Для применения такой технологии необходимо осуществлять механическое дробление, классификацию и, желательно, отмывку рудной массы. Ряд фирм выпускает передвижные дробильные комплексы, которые могут использоваться в подземных горных выработках, в том числе в технологических схемах с предконцентрацией. Практически возможно решение в подземных условиях н проблемы отмывки рудной массы, если эта операция окажется экономически оправданной.

10. Выбор способа предконцентрации и места размещения пункта сепарации должен определяться интегральным показателем эффективности по конечной продукции. Но, в принципе, возможно и сочетание разных способов предконцентрации в одной технологической схеме рудника на разных её стадиях, обеспечивая поэтапное повышение концентрации металла на выходе из рудника.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Магистерская диссертационная работа является законченной научно-исследовательской работой, в которой на основании выполненных исследований, изложены обоснованные технологические решения по модернизации систем управления качеством руды при подземной добыче, решение которых вносит значительный вклад в развитие горнодобывающего производства Республики Узбекистан.

Основные научные и практические результаты работы заключаются в следующем:

1. Доказано, что кардинальное решение задачи качества рудного сырья невозможно лишь за счёт отдельных рационализаций внутри горнодобывающего и обогащательного производств. Для этого необходима определённая система действий технического, технологического и организационного характера по всему комплексу производств с интегральной оценкой их экономических результатов.

2. Установлено несоответствие современному производству известных способов повышения содержания металлов в добытой руде, осуществляемых за счёт селективной выемки и призабойной породотборки их в традиционном виде, так как они, вступая в противоречие с индустриальными технологиями добычи, тормозят темпы горных работ и сокращают степень использования мощности и рабочего ресурса дорогостоящего горного и транспортного оборудования. Более перспективный путь повышения массовой доли металлов в руде – это применение в рудниках процессов предконцентрации, основанных на рентгенорадиометрических средствах сепарации и экспресс-контроля качества добычи, что позволяет вдвое увеличить содержание компонентов и на 50% сократить добычу некондиционной рудо-породной массы. Разработана классификация, а также сформирован ряд типовых технологических схем горно-добычных работ с рентгенорадиометрической предконцентрацией рудной массы.

3. Показано, что в рудниках имеются объективные условия для реального повышения коэффициента усреднения руд в 2-3 раза по сравнению с достигаемыми на практике результатами и, в первую очередь, в части снижения низкочастотных колебаний их качества. Благоприятствует этому сама технология подземной добычи с её многостадийными перемещениями рудной массы под действием взрыва, сил гравитации и с больших высот, а также неоднократными перегрузками. Введение в эти процессы, для которых характерны случайные результаты системного управления, способно превратить их в эффективно управляемую систему.

4. В диссертации разработана целостная научная и инженерная база системной модернизации внутрирудничного производства для эффективного управления качеством продукции. Эта база включает в себя ряд классификаций, в том числе способов управления качеством руд при подземной добыче, технологических схем предконцентрации и способов усреднения состава рудной массы; структуру и принципы формирования рудничной информационно-управляющей системы качества руд; методологию моделирования и обоснования основных параметров внутрирудничной предконцентрации и стабилизации качества рудной массы; типовые технологические схемы добычи руды, а также аналитический аппарат и ряд зависимостей, необходимых для обоснования параметров технологий и прогнозных оценок результатов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдулкин А.А., Викторов М.Н. и др. Крупнопорционная сортировка оловянных руд // Цветные металлы. – 2004. – №10.
2. Абрамов В.Ф. Опыт разработки месторождений с подземным обогащением руд на зарубежных рудниках // Цветная металлургия. – 2004. – №2.
3. Агошков М.И., Рыжов В.П., Гринёв Р.М. Изменение качества руды в процессе выпуска и управления им при системах разработки с обрушением руды и вмещающих пород // Горный журнал. – 2008. – №4.
4. Амирханов И.З. Разработка технологии и обоснование параметров взрывоселекции при очистной выемке и проведении подготовительных выработок // Дисс. канд. техн. наук. – МГИ, 1994.
5. Арсеньев С.П., Прудовский А.Д. Внутрикарьерное усреднение железных руд. – М: Недра, 2000.
6. Архипов О.А. Радиометрическая обогатимость руд при их разведке. – М: Недра, 2005.
7. Балдин А.С., Зернов Л.В., Лучин Н.А. и др. Результаты сепарации оловянных руд рентгенорадиометрическим способом // Цветные металлы – 2001. – №12.
8. Бастан П.Л., Азбель Е.И., Ключкин Е.И. Теория и практика усреднения руд. М.: Недра, 2009.
9. Бастан П.Л., Волошин Н.Н., Усреднение руд на горно-обогатительных предприятиях. – М.: Недра, 2001.
10. Богданович А.В., Буйнов П.И., Савраева С.В. Исследование возможности применения радиометрических методов обогащения для полиметаллических руд // Межведом. научные труды. – Механообр, 2001.
11. Богуславский Э.И. Управление качеством руды. – СПб, СГПТИ, 2002.

12. Борисенко С.Г., Кармазин В.И. и др. Подземный горно-металлургический комбинат // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2000. – №1.
13. Большаков А.Ю. Управление качеством руд на основе ядерно-физического опробования. М.: Недра, 2009.
14. Букринский В.А. Геометрия недр. – М.: Недра, 2005.
15. Богданов М.Н., Бойко С.В., Кожиев Х.Х. Влияние технологии подземной очистной выемки на стабильность качества добываемой руды // *Сб. трудов*, 2007.
16. Бызов В.Ф. Управление качеством продукции карьеров. – М.: Недра, 1991.
17. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. – М.: Наука, 1964.
18. Веселов О.Л. Технология добычи некондиционных руд с радиометрической предконцентрацией рудной массы в выработанном пространстве // *Дисс. ... канд. техн. наук.* – МГТУ, 1993.
19. Грачёв Ф.Г. Управление качеством сырья на горнорудных предприятиях. М.: Недра, 2007.
20. Гудков В.М., Васильев А.А., Николаев К.П. Прогноз и планирование качества полезного ископаемого. – М.: Недра, 2006.
21. Ершов В.В. Геолого-маркшейдерское обеспечение управления качеством руд. – М.: Недра, 2006.
22. Зарайский В.Н., Николаев К.П., Казанский К.В. Усреднение руд. – М.: Недра, 2005.
23. Зернов Л.В., Лучинин И.А., Миронов И.И., Рябкин В.К. Исследование рентгенорадиометрической сепарации оловянных руд // *Цветная металлургия*. – 2002. – №1.
24. Зейнуллин А.А. Обоснование и разработка технологии подземной добычи с предконцентрацией рудной массы // *Дисс. ... докт. техн. наук.* – МГТУ, 1996.

25. Игисинов Ж.Т. Обоснование параметров технологии внутрипанельной стабилизации качества рудной массы // Дисс. ... канд. техн. наук. – МГТУ, 1995.

26. Кавтаськин А.А. Научные основы повышения полноты и эффективности разработки рудных месторождений при применении рудоподготовки // Дисс. ... канд. техн. наук. – ИПКОН, 1992.

27. Каплунов Д.Р., Ломоносов Г.Г. Основные проблемы освоения недр при подземной разработке рудных месторождений // Горный журнал. – 1999. – №1.

28. Каплунов Д.Р., Манилов И.А. Стабилизация качества руды при подземной добыче. – М.: Недра, 1983.

29. Каплунов Д.Р., Жиганов Е.В., Жовтис Е.А. и др. Методические положения по стабилизации качества добываемого сырья при подземной разработке рудных месторождений. – Алма-Ата; Изд. ИГД РК, 1992.

30. Кожиев Х.Х., Сабанов Н.А. Рудник «Комсомольский»: становление и развитие // Горный журнал. – 2001. – №2.

31. Кожиев Х.Х. Влияние технологии подземной очистной выемки на стабильность качества добываемой руды // Сб. тр. «Разработка руд цветных металлов». – Норильск, 1987.

32. Кожиев Х.Х., Ломоносов Г.Г. Рудничные системы управления качеством минерального сырья. – М.: изд. МГТУ, 2005.

33. Кожиев Х.Х. Разработка месторождений на больших глубинах. – Изд. НИИ, 1991.

34. Кожиев Х.Х., Сабанов Н.А. Рудник «Комсомольский»: становление и развитие // Горный журнал. – 2001. – №2.

35. Кожиев Х.Х., Янишевский А.А. Технология разработки рудных месторождений. – Изд. НИИ, 1995.

36. Кожиев Х.Х. Перспективы развития рудников ОАО «ГМК» Норильский никель» // Сб. докладов науч.-техн. конф. – Изд. НИИ.

37. Кожиев Х.Х. О перспективах развития горных предприятий Р.У. «Талнахское» // Сб. докл. – Изд. НИИ, 2003.
38. Кожиев Х.Х. Пути повышения товарной ценности руд в современных условиях // Горный журнал, 2005.
39. Кожиев Х.Х. Классификация способов управления качеством руд при подземной добыче // Горный информационно–аналитический бюллетень. – 2005. – №8.
40. Кожиев Х.Х. Моделирование предконцентрации рудной массы // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2005. – №12.
41. А.с. №1335702. Способ разработки руды камерно-целиковой системой // Бойко С.В., Бадаев В.Ю., Кожиев Х.Х., Липчанский В.М., Богданов М.Н. –1987.
42. А.с. №1362828. Способ разработки рудных тел с прослоями // Арбатских А.А., Кожиев Х.Х., Сабанов Н.А., Бойко С.В. – Б.И. –1987.
43. А.с. №1423750. Способ разработки рудных тел // Кожиев Х.Х., Малетин Л.В., Слупчук В.В., Коротков Ю.З. – Б.И. –1989. – №8.
44. Леман Е.П. Рентгенорадиометрический метод опробования месторождений цветных и редких металлов. – С.-Пб., 2008.
45. Лилеев В.А., Зверев В.В., Гулин Е.Н. Радиорезонансная сепарация медно–никелевых руд // Цветные металлы. – 2008. – №1.
46. Лилеев В.А., Зверев В.В., Гулин Е.Н. и др. Предварительная рудоподготовка медно–никелевых руд методом радиометрической сепарации // В сб.: Комбинированные методы переработки медно-никелевых руд.
47. Ломоносов Г.Г. Повышение качества продукции отечественного горнорудного производства как основа повышения её конкурентоспособности // Горный журнал. – 2004. №12.
48. Ломоносов Г.Г. Горная квалиметрия.– М.: Изд. МГГУ, 2000.
49. Ломоносов Г.Г. Формирование качества руды при открытой добыче. – М.: Недра, 2005.

50. Ломоносов Г.Г. Управление качеством продукции горного предприятия. – М.: Изд. МГИ, 2004.

51. Ломоносов Г.Г., Жигалов М.Л. Основные принципы управления качеством руд на подземных рудниках // Горный журнал. – 1991. – №2.

52. Ломоносов Г.Г. Основные проблемы подземных рудников и концепция их технического перевооружения // Горный журнал. –1997. – №7.

53. Ломоносов Г.Г., Кожиев Х.Х. Об актуальности модернизации внутрирудничной системы управления качеством добычи руд // Маркшейдерский вестник. – 2005. – №2.

54. Матерон Ж. Основы прикладной геостатистики. – М.: Мир, 2001.

55. Мейер В.А., Иванюкович Г.А. Рентгенорадиометрические методы управления качеством руд. – С.-Пб., 2009.

56. Мокроусов В.А., Лилеев В.А. Радиометрическое обогащение нерадиоактивных руд. – М.: Недра, 2009.

57. Мокроусов В.А., Соколов Э. Т., Ермоленко В.И. и др. Рентгенорадиометрическая сепарация оловоносных скарнов // Цветные металлы. – 2002. – №11.

58. Панфилов Е.И., Арзуманян С.С. Взрывосортировка при разработке пологих жил. – М.: Изд. ИПКОН, 2003.

59. Певзнер М.Е., Попов В.Н. Квалиметрия недр – новое направление в горных науках // Горный информационно–аналитический бюллетень. –1999.– №5.

60. Пейхель Г.В. Исследование влияния природных и технологических факторов на усреднение качества руд (на примере Миргалимсайского месторождения) // Дисс. ... канд. техн. наук, 2005.

61. Пеньковский И.В. Формирование качества рудной массы при подземной разработке месторождений разнотипных руд // Дисс. ... канд. техн. наук.– МГИ, 1993.

62. Пономарёв Л.Ф., Реуцкий Ю.В. Автоматизированная система управления качеством руд с применением радиометрического контроля содержания металлов // Горный журнал. – 1987. – №1.

63. Птицын А.М., Дюдин Ю.К., Синдаровский А.Н., Руднев Б.П. Оценка перспектив развития горно–металлургической базы ряда металлов в Российской Федерации. – М.: изд. Гипроцветмет, 2002.

64. Пономарёв Л.Ф., Русуцкий Ю.В., Шкарпетин В.В. Использование цементов АСУ при подземной добыче руд // Горный журнал. –1989. – №11.

65. Посик Л.И., Кошелев И.В. Радиометрическая крупнопорционная сотировка руд при их добыче и транспортировке // Цветные металлы. – 2009.

66. Пухальский Л.Ч. Рудничная геофизика. –М.: Энергоиздат, 2003.

67. Пухальский Л.Ч. Рудничная обогатимость руд при их разведке. – М.: Недра, 2005.

68. Ревнивцев В.И., Рыбакова Т.Г., Леман Е.П. Рентгенорадиометрическое обогащение комплексных руд цветных и редких металлов. – М.: Недра, 1999.

69. Ревнивцев В.И., Азбель Е.И. и др. Подготовка минерального сырья к обогащению и переработке. – М.: Недра, 1997.

70. Рыжов П.А. Геометрия недр. – М.: Недра, 1994.

71. Сакенов М.Д. Обоснование параметров технологии радиометрической мелкопорционной предконцентрации руды вблизи очистных забоев // Дисс. ... канд. техн. наук. –МГИ, 1993.

72. Татарников А.П. Ядерно-физические методы обогащения полезных ископаемых. – М.: Атомиздат, 1994.

73. Устинов И.Д., Черницкий Л.П. Фотометрическая сепарация вольфрамомолибденовых руд // Обогащение руд. – 1999. – №2.

74. Фам Нгок Хай. Обоснование системы усреднения качества железных руд // Дисс. ... канд. техн. наук. – МГГУ, 1998.

75. Фёдоров Ю.О., Цой В.П., Коренев О.В., Короткевич В.А., Кацер И.У. Усреднение качества железных руд // Горный журнал. – 1998. – №1.

76. Феськов В.П. Обоснование параметров технологических схем подземной добычи руд с поковшовой радиометрической предконцентрацией вблизи очистных блоков // Дисс. ... канд. техн. наук.– МГИ, 1992.

77. Ципин Е.Ф., Комлев С.Г., Потапов В.Я. О целесообразности предварительного обогащения медных и медно-цинковых руд // Сб. научных трудов УНИПромедь, 1996.

78. Чжу Син Гень. Обоснование параметров подземной усреднительной системы // Дисс. ... канд. техн. наук. –МГГУ, 1994.

79. Шемякин В.С., Федяев Ф.Ф., Останин О.В., Макаров Т.В. О возможности обогащения бокситов ЮУБРа методом фотометрической сепарации // Известия вузов. Цветная металлургия. – 1992. – №3.

80. Шестаков В.А. Управление качеством продукции на горных предприятиях. – Новочеркасск, 2001.