

Лекция 2. Потери и разубоживание полезных ископаемых: методы оценки и пути снижения

Цель лекции: Изучить количественные показатели потерь и разубоживания при различных системах разработки, освоить методики их нормирования и контроля.

План лекции:

1. Классификация потерь (общешахтные, эксплуатационные, потери в целиках, при взрывных работах, при транспортировке).
2. Разубоживание: причины, виды (приконтурное, междупластовое, технологическое), экономические последствия.
3. Методы замеров и расчета: геометрический, геостатистический, по данным опробования.
4. Организационные и технологические мероприятия по снижению потерь и разубоживания (селективная выемка, усреднение, рентгенорадиометрическая сепарация).

Потери и разубоживание полезных ископаемых представляют собой два взаимосвязанных явления, определяющих полноту и качество извлечения минерального сырья из недр. Потери – это часть балансовых запасов, не извлечённая из недр в процессе добычи по техническим, технологическим или организационным причинам. Разубоживание – это снижение содержания полезного компонента в добытой горной массе вследствие вовлечения пустой породы или некондиционных руд. Оба показателя оказывают решающее влияние на экономическую эффективность горного производства и рациональность использования минеральных ресурсов.

По данным исследований, потери полезных ископаемых при добыче могут составлять от 3-10% и более разведанных запасов. При этом качество многих руд неуклонно снижается: за последние десятилетия содержание железа и золота уменьшилось в 1,25 раза, цветных металлов в 1,3-1,5 раза. В этих условиях проблема минимизации потерь и разубоживания приобретает особую остроту.

1. Классификация потерь полезных ископаемых

Потери полезных ископаемых при добыче классифицируются по нескольким признакам, что позволяет систематизировать их причины и разрабатывать целенаправленные меры по снижению.

1.1. По месту образования

Общешахтные (общекарьерные) потери – потери, неизбежно связанные с принятой технологической схемой разработки месторождения в целом. К ним относятся:

- Потери в барьерных и охранных целиках, обеспечивающих устойчивость горных выработок и охрану объектов на поверхности.

- Потери в зонах тектонических нарушений, где отработка запасов технически затруднена или экономически нецелесообразна.

- Потери при оставлении предохранительных целиков под зданиями, сооружениями, водоёмами.

Общешахтные потери закладываются на этапе проектирования и, как правило, не подлежат сокращению без изменения всей технологической схемы разработки.

Эксплуатационные потери – потери, возникающие непосредственно в процессе ведения горных работ и зависящие от принятой системы разработки, качества выполнения технологических операций и уровня организации производства. Они подразделяются на:

- *Потери в междуканальных и междуэтажных целиках* – при системах разработки с оставлением целиков часть руды безвозвратно теряется в массиве.

- *Потери при оконтуривании рудных тел* – из-за неточного определения границ рудного тела часть балансовых запасов остаётся в массиве или отбивается вместе с породой.

- *Потери при буровзрывных работах* – часть руды может быть переизмельчена и потеряна при погрузке и транспортировке, либо остаться в массиве из-за неполной отбойки.

- *Потери при транспортировке* – россыпь, замазывание руды в транспортных сосудах, потери при перегрузках.

- *Потери при закладке* – руда, оставшаяся в закладочном массиве и недоступная для последующего извлечения.

1.2. По характеру проявления

- Проектные (нормативные) потери – потери, предусмотренные проектом и утверждённые в установленном порядке. Они учитываются при подсчёте балансовых запасов и планировании добычи.

- Сверхнормативные потери – потери, превышающие утверждённые нормативы. Возникают из-за нарушений технологии, низкой квалификации персонала, неблагоприятных горно-геологических условий. Сверхнормативные потери не компенсируются и являются прямым ущербом для недропользователя.

1.3. По стадии технологического процесса

- Потери в массиве (неотбитая руда).

- Потери при отбойке (руда, оставшаяся в массиве после взрыва).

- Потери при доставке и погрузке.

- Потери при транспортировке.

- Потери при переработке (на обогатительной фабрике).

Знание классификации потерь позволяет выявлять наиболее проблемные участки технологической цепочки и разрабатывать адресные мероприятия по повышению полноты извлечения.

2. Разубоживание: причины, виды и экономические последствия

2.1. Понятие и сущность разубоживания

Разубоживание – это снижение содержания полезного компонента в добытой горной массе по сравнению с его содержанием в оконтуренном рудном теле. Оно происходит вследствие попадания в рудную массу пустых вмещающих пород, некондиционных руд или закладочного материала.

Разубоживание и потери взаимосвязаны: как правило, попытка снизить потери (более полная выемка руды) приводит к увеличению разубоживания, и наоборот. Задача горного инженера – найти оптимальный баланс между этими двумя показателями, обеспечивающий максимальную экономическую эффективность.

2.2. Виды разубоживания

Приконтурное разубоживание – наиболее распространённый вид, возникающий при врезке очистных выработок во вмещающие породы. Происходит из-за:

- Неточного оконтуривания рудного тела.
- Несовершенства буровзрывных работ (подрывка пород кровли и почвы).
- Обрушения неустойчивых пород кровли в выработанное пространство.

Междупластовое разубоживание – характерно для крутопадающих и пологопадающих залежей, где рудное тело переслаивается с пустыми породами. При отработке таких залежей неизбежно вовлечение породных прослоев.

Технологическое разубоживание – возникает в процессе выполнения технологических операций:

- При погрузке руды экскаватором (захват части породы из кровли или почвы).
- При транспортировке (смешивание руды с породой на перегрузочных пунктах).
- При выпуске руды (особенно при системах с обрушением).

Разубоживание закладочным материалом – при системах разработки с закладкой часть закладочного материала может попадать в рудную массу, снижая её качество.

2.3. Причины разубоживания

Причины разубоживания можно разделить на три группы:

1. Геологические – сложная морфология рудных тел, невыдержанность мощности, наличие включений пустой породы, постепенные контакты руды с вмещающими породами.

2. Технологические – несовершенство систем разработки, неоптимальные параметры буровзрывных работ, низкое качество селективной выемки.

3. Организационные – недостаточный контроль качества, низкая квалификация персонала, отсутствие оперативного опробования.

2.4. Экономические последствия разубоживания

Разубоживание оказывает комплексное негативное влияние на экономику горного предприятия:

1. Увеличение эксплуатационных расходов – на добычу и транспортирование большего объёма горной массы при том же количестве извлекаемого металла.

2. Снижение выхода товарного концентрата – на обогатительной фабрике перерабатывается больший объём руды с низким содержанием, что снижает производительность оборудования и увеличивает удельные затраты.

3. Рост затрат на обогащение и металлургический передел – при низком содержании полезного компонента требуется больше реагентов, энергии и времени для получения того же количества металла.

4. Увеличение объёма отходов – больше хвостов обогащения, что повышает экологическую нагрузку и затраты на их размещение.

5. Снижение дохода и прибыли – при одинаковых затратах на добычу предприятие получает меньше товарной продукции.

6. Потеря конкурентоспособность – высокая себестоимость продукции делает предприятие уязвимым при падении цен на мировых рынках.

По оценкам специалистов, наибольшее влияние на прибыль горного предприятия оказывает именно фактор разубоживания руды.

3. Методы замеров и расчета потерь и разубоживания

Для количественной оценки потерь и разубоживания применяются различные методы, выбор которых зависит от типа месторождения, системы разработки и доступной информации.

3.1. Геометрический метод

Геометрический метод основан на сравнении проектных и фактических контуров выемки. Он включает:

- Маркшейдерскую съёмку очистных пространств до и после выемки.
- Определение объёмов отбитой руды и извлечённой породы.
- Расчёт потерь и разубоживания по геометрическим параметрам.

Метод позволяет достаточно точно оценить потери и разубоживание для камерных и камерно-столбовых систем разработки, где контуры выработок хорошо документируются.

Формула для расчёта потерь геометрическим методом:

$$\Pi = \frac{V_{\text{проект}} - V_{\text{факт}}}{V_{\text{проект}}} \times 100\%$$

где $V_{\text{проект}}$ - проектный объём руды в блоке, $V_{\text{факт}}$ - фактически извлечённый объём руды.

3.2. Геостатистический метод

Геостатистический метод основан на вероятностно-статистическом анализе распределения содержаний полезного компонента в массиве и отбитой рудной массе. Он включает:

- Вариограммный анализ – изучение пространственной изменчивости содержаний.
- Кригинг – интерполяция содержаний по данным опробования.
- Оценку потерь и разубоживания на основе сравнения статистических характеристик руды в массиве и в добытой массе.

Метод особенно эффективен для месторождений с неравномерным распределением полезного компонента, где геометрический метод даёт значительные погрешности.

Основные расчётные параметры:

$$\Delta\Pi = f(L, \sigma, a)$$

$$\Delta P = f(L, \sigma, a)$$

где L - длина контакта руда-порода, σ - изменчивость содержаний, a - доля примешивания породы.

3.3. Метод по данным опробования

Метод основан на сравнении содержания полезного компонента в балансовых запасах и в фактически добытой рудной массе:

Потери определяются по формуле:

$$\Pi = \frac{Q_{\text{бал}} \cdot C_{\text{бал}} - Q_{\text{доб}} \cdot C_{\text{доб}}}{Q_{\text{бал}} \cdot C_{\text{бал}}} \times 100\%$$

где $Q_{\text{бал}}$ - балансовые запасы руды, т; $C_{\text{бал}}$ - среднее содержание полезного компонента в балансовых запасах; $Q_{\text{доб}}$ - фактически добытая руда, т; $C_{\text{доб}}$ - среднее содержание полезного компонента в добытой руде.

Разубоживание определяется как:

$$P = \frac{Q_{\text{пор}} - Q_{\text{руд}}}{Q_{\text{общ}}} \times 100\%$$

или по снижению содержания:

$$P = \frac{C_{\text{бал}} - C_{\text{доб}}}{C_{\text{бал}}} \times 100\%$$

Для оперативного контроля качества применяются экспресс-методы опробования: рентгенофлуоресцентный, нейтронно-активационный, лазерно-искровая спектроскопия.

3.4. Метод нормирования потерь и разубоживания

Нормирование представляет собой установление плановых (нормативных) значений потерь и разубоживания для конкретных горно-геологических условий. Методика нормирования включает:

1. Анализ горно-геологических условий – мощность, угол падения, устойчивость пород, трещиноватость.
2. Выбор системы разработки и определение её параметров.
3. Расчёт нормативных величин потерь и разубоживания для каждого элемента системы разработки.
4. Утверждение нормативов в установленном порядке.
5. Контроль соблюдения нормативов в процессе эксплуатации.

Нормирование является эффективным механизмом рационального природопользования, так как устанавливает экономически обоснованные пределы потерь и разубоживания, стимулирует предприятия к повышению культуры производства.

4. Организационные и технологические мероприятия по снижению потерь и разубоживания

Снижение потерь и разубоживания – комплексная задача, требующая применения как технологических, так и организационных решений.

4.1. Селективная выемка

Селективная выемка – это отдельная отбойка, погрузка и транспортировка руды различных сортов и вмещающих пород. Она позволяет:

- Избегать попадания пустой породы в рудную массу.
- Обеспечивать стабильное качество руды, поступающей на обогащение.
- Снижать затраты на обогащение за счёт уменьшения объёма перерабатываемой породы.

Технологические решения для селективной выемки:

- Применение экскаваторов с селективными ковшами.
- Использование погрузочно-доставочных машин с возможностью отдельной погрузки.
- Раздельное складирование руды различных сортов на рудных складах.

По оценкам специалистов, применение селективной выемки позволяет снизить разубоживание на 15-20 % и потери на 10-15 %.

4.2. Усреднение качества рудной массы

Усреднение – это процесс стабилизации качества руды, поступающей на обогащение, путём смешивания руды из различных забоев и участков. Основные методы усреднения:

- Планирование забоев – отработка участков с высоким и низким содержанием в определённой последовательности.
- Создание рудных складов – формирование штабелей усреднённой руды.

- Автоматизированное управление качеством – использование блоковых моделей и систем оперативного контроля.

Усреднение позволяет поддерживать стабильное содержание полезного компонента на обогатительной фабрике, что повышает эффективность обогащения и снижает потери металла в хвостах.

4.3. Рентгенорадиометрическая сепарация (РРС)

Рентгенорадиометрическая сепарация – это метод предварительного обогащения, основанный на различии в способности минералов излучать или поглощать рентгеновское излучение. Метод позволяет:

- Отделять куски руды с низким содержанием и пустую породу на ранней стадии.

- Сокращать объём материала, поступающего на дальнейшее обогащение.

- Снижать потери ценных компонентов в отходах.

РРС особенно эффективна для руд с контрастными физическими свойствами (золото, медь, вольфрам, алмазы). Применение радиометрических методов опробования в забоях позволяет оперативно контролировать качество и корректировать параметры выемки.

4.4. Организационные мероприятия

1. Повышение точности геолого-маркшейдерского обеспечения – детальное оконтуривание рудных тел, регулярное обновление геологических моделей.

2. Контроль качества буровзрывных работ – оптимизация параметров взрывания для снижения переизмельчения руды и подрывки вмещающих пород.

3. Обучение персонала – повышение квалификации машинистов экскаваторов, бурильщиков, операторов ПДМ.

4. Внедрение системы премирования – материальное стимулирование за снижение потерь и разубоживания.

5. Автоматизация контроля качества – использование систем экспресс-анализа и автоматизированного учёта добычи.

4.5. Комплексный подход

Наиболее эффективным является комплексное применение всех перечисленных мероприятий. Как показывает практика, оптимальный баланс между потерями и разубоживанием достигается при системном подходе, учитывающем экономические, технологические и организационные факторы.

Вопросы для самоконтроля

1. Чем отличаются общешахтные и эксплуатационные потери полезных ископаемых? Приведите примеры каждого вида потерь.

2. Каковы основные причины разубоживания руды? Опишите виды разубоживания и их влияние на экономические показатели горного предприятия.

3. В чём заключается сущность геометрического, геостатистического методов и метода по данным опробования для расчёта потерь и разубоживания? При каких условиях каждый из методов наиболее эффективен?

4. Какие организационные и технологические мероприятия позволяют снизить потери и разубоживание руды? Опишите принципы селективной выемки, усреднения и рентгенорадиометрической сепарации.

5. Как взаимосвязаны потери и разубоживание? Почему попытка минимизировать один из показателей может приводить к росту другого, и как найти оптимальный баланс?

Список использованной литературы

1. Аленичев В.М., Борисков Ф.Ф., Аленичев М.В. К вопросу о классификации потерь полезных ископаемых в современных условиях недропользования // CyberLeninka. - 2009.

2. Вохмин С.А., Загиров Н.Х., Требуш Ю.П., Курчин Г.С., Майоров Е.С. Нормирование потерь и разубоживания как механизм рационального природопользования // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. - 2013.

3. Вохмин С.А., Требуш Ю.П., Курчин Г.С. Методика расчета показателей извлечения нерудных полезных ископаемых при подземной добыче // Горный журнал. - 2012. № 9.

4. Конев А.В., Шульгина К.А., Миронова Ж.В., Кузина Л.Н., Богдановская С.Ф. К вопросу разубоживания и потерь полезных компонентов при отработке месторождений руд цветных металлов и золота // VII International Congress «Non-Ferrous Metals and Minerals». - 2015.

5. Классификация нормируемых видов потерь и разубоживания полезных ископаемых при добыче // Квалиметрия недр. - Горная книга.

6. Крамсков Н.П., Вохмин С.А., Требуш Ю.П., Курчин Г.С., Майоров Е.С. Методика нормирования потерь и разубоживания руды при подземной разработке кимберлитовой трубки «Айхал» // Горный журнал. - 2013. № 12.

7. Методика определения нормативных величин потерь и разубоживания твердых полезных ископаемых при открытой разработке месторождений // Квалиметрия недр. - Горная книга.

8. Техничко-экономическая оценка последствий потерь и разубоживания на примере карьеров «Восточный Камыс» и «Тур» // CyberLeninka.