

Управление потоком руды

Эффективный процесс управления
рудой от рудника к фабрике

Модератор: Сергей Шестак

**Место
проведения:** Зал «Толстой»

Основной задачей управления потоком руды является поставка руды заданного качества на обогатительную фабрику в объёмах, предусмотренных планами производства

Управление потоком руды включает в себя процессы принятия решений на следующих этапах:

- Сбор исходных данных и оценка качества полученных данных.
- Локальную оценку качества и количества руды в недрах.
- Надзор и руководство за добычей руды в забоях.
- Отслеживание движения добытой руды и пустых пород, управление рудными складами.
- Процедуры сопоставления и управления запасами руды на предприятиях.

На каждом этапе существуют как риски, следствием которых обычно является невыполнение плановых показателей и снижение, иногда достаточно существенное финансовых показателей, так и возможности по оптимизации и повышению эффективности производства. Каждый из этапов представляет собой отдельную производственную задачу, выполняемую людьми различных профессий и квалификации, но нельзя забывать, что управление добычей руды является единым комплексным процессом и повышение эффективности на каждом отдельном этапе может не дать ожидаемого результата, если не рассматривать задачу комплексно.

Основой любой производственной программы на горном производстве программы являются результаты геологического опробования. Общеизвестно, что геологическое опробование должно быть репрезентативным и соответствовать назначению. Один раз ошибка опробования будучи внедренным, распространяется через все последующие процессы, способствуя неопределенности данных, что приводит к неправильным решениям и финансовым потерям.

На горных работах существуют в настоящее время следующие виды опробования:

- Точечное (сколковое) опробование – проба отбирается с одного места. Наиболее часто применяется при геохимических исследованиях, а также при опробовании месторождения с малой изменчивостью содержания полезных компонентов. Наименее трудоёмкое и также наименее репрезентативное. Может проводиться как в горных выработках, так и по керну буровых скважин.
- Пунктирное сколковое опробование – серия точечных проб, расположенная на одной линии объединяются в одну пробу. Также может проводиться как в горных выработках, так и по керну буровых скважин.
- Бороздовое опробование – в пробу отбирается весь материал из борозды определённого сечения. Является достаточно представительным и достаточно трудоёмким
- Горстевое опробование - в пробу обычно отбирается материал из взорванной горной массы в одном месте или равномерно по взорванному массиву.
- Задирковое опробование - в пробу отбирается слой равной толщины по всей части рудного тела (жилы), Оно применяется при опробовании жильных тел малой мощности, когда бороздовое опробование не даёт материала, необходимого для представительной пробы.

- Отбор проб из шлама скважин для взрывных работ. – наиболее часто применяется на открытых горных работах, может также применяться и на подземных горных работах. Может достаточно достоверно характеризовать качество по отдельной скважине, но разделение шлама на интервалы является достаточно проблематичным. Существенным достоинством является отсутствие необходимости в организации отдельного бурения.
- Бурение с обратной циркуляцией – отбор проб из шлама, извлекаемого из скважин внутри буровых труб. Является более представительным по сравнению с опробование буровзрывных скважин, но требует отдельных затрат на RC бурение.
- Керновое опробование – является наиболее представительным при соблюдении технологии бурения.
- Геофизические методы опробования (XRF, определение магнитной восприимчивости и т.д.) – являются наиболее дешёвыми и производительными. Поскольку не являются прямыми определениями необходимо усиленное внимание на процедуры контроля и корректность корреляционных зависимостей.

Бороздовое опробование



Отбор шламовых проб

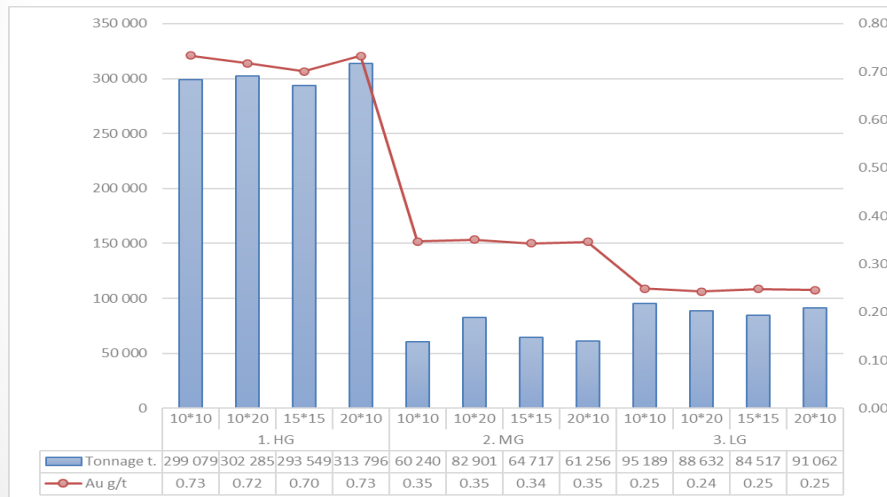


Опробование RC

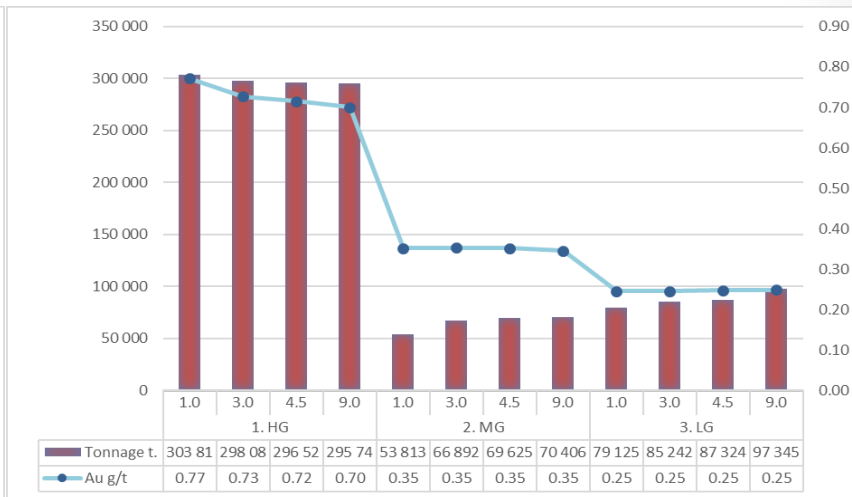


При организации опробования на горных работах в первую очередь необходимы опытные работы для обоснования следующих параметров:

- Репрезентативность опробования.
- Объёмы и сроки выполнения работ по опробованию.
- Себестоимость работ по опробованию.
- При выполнении опытных работ при возможности желательно организовать процедуру сопоставления с данными обогащения.
- При выполнении опытных работ также желательно предусмотреть регулярное определение основных свойств добываемой руды: объёмного веса в недрах, и естественной влажности.



Влияние параметров разведочной сети на ресурсы различных типов руд



Влияние длины опробования на ресурсы различных типов руд

Контроль качества опробования необходим как при проведении геологоразведочных работ, так и при эксплуатационном опробовании. В Руководстве по передовой практике Канадского института горного дела, металлургии и нефти (CIM 2003, с.8) утверждается, что Обеспечение Качества (QA) относится ко «всем запланированным или систематическим действиям, необходимым для обеспечения достаточной достоверности в процессе сбора и оценки данных».

Таким образом процедуры контроля качества включают в себя:

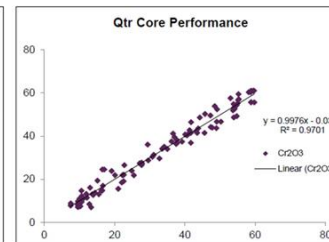
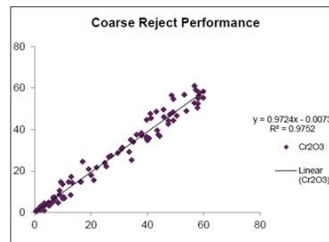
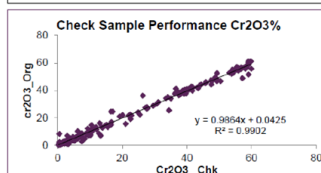
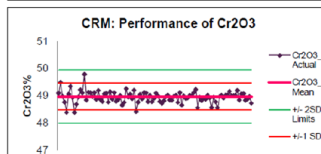
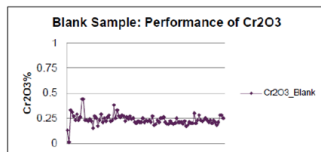
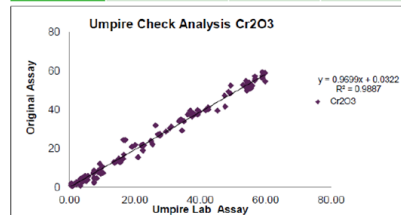
- Процедуры отбора проб. Для обоснования процедур отбора проб необходимо проведение опытных работ по определению оптимального метода отбора проб, и организовать контрольные процедуры для подтверждения отбора проб другими методами
- Организацию нумерации и учёта проб для исключения их потери или ошибок в нумерации. При достаточно большом объёме опробования для исключения ошибок необходимо чётко разработать систему нумерации проб. Номера пробы должны содержать в своей структуре или в виде атрибутов в базе данных следующую информацию: данные о выемочной единице, данные о номере блока, номер скважины в блоке, номер пробы в скважине.
- Организацию процедур пробоподготовки. Подготовка проб к аналитическим работам (дроблению, сокращение и истирание) является одним из ключевых процессов и на данном этапе необходим тщательный контроль качества по следующим направлениям: введение пустых проб - для контроля загрязнения проб при их подготовке; отбор дубликатов дроблёных проб – для контроля процедур сокращения дроблёных проб; отбор дубликатов истёртых проб.
- Оценка аналитической точности (достоверности). Для контроля аналитических работ необходимо использование стандартных образцов (сертифицированного эталонного материала). При этом стандартные образцы должны соответствовать добываемой руде по следующим параметрам: цвет материала, подобное (аналогичное) состояние окисления. подходящую геохимию

Организация первичного анализа результатов контроля качества должна проводиться отдельно для каждого блока, добываемого на месторождении при необходимом условии – получения аналитических данных из лаборатории для всех контрольных проб по блоку до начала моделирования блока, выделения контуров для добычи и собственно добычи руды из блока.

Сводная отчётность по результатам контроля качества, включая также данные внешнего контроля, должна формироваться ежеквартально.

QAQC Analysis: Acceptance Criteria

Sample Type	Parameter Checked	Acceptance	Rejection
Blank sample	Maximum %	<0.5% Cr2O3%	>0.5% Cr2O3
Certified Reference Material (CRM)	Matched against the Mean value of the CRM Certificate	< 2SD (<1SD is Desirable)	>2SD
Check Sample		R ² >95%	R ² < 95%
Quarter Core	Value Matched against the Original Assayed value	R ² >95%	R ² < 95%
Coarse Reject		R ² >95%	R ² < 95%
Umpire Check		R ² >95%	R ² < 95%
Sizing Check	% passing through Screen/Sieve	>90% Pass	< 90% Pass

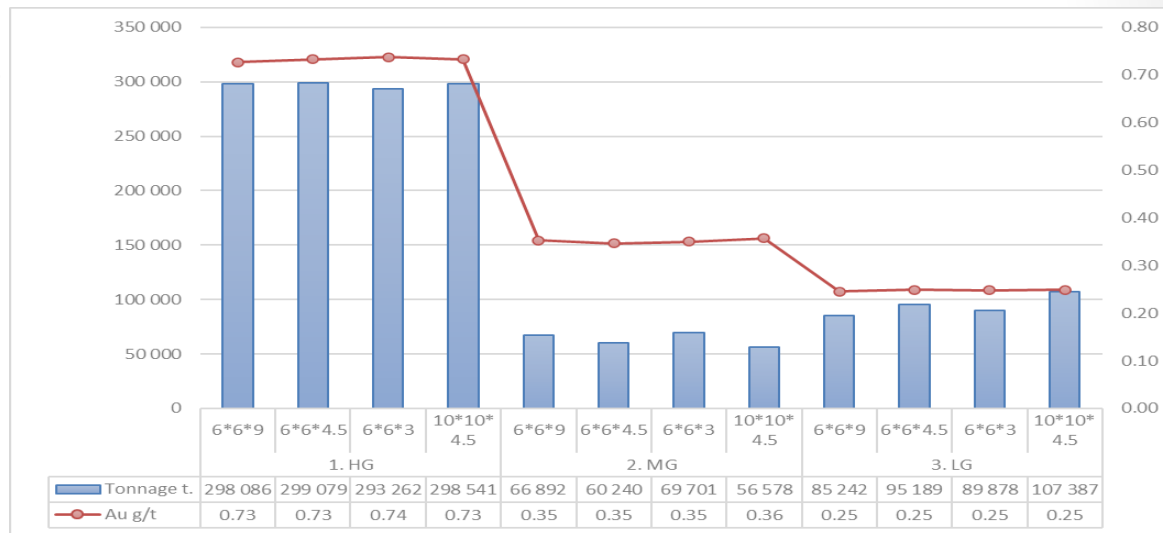


- ❖ Blank Sample: All the Blank Samples are analysed with <0.5% Cr2O3; the acceptable limit according to the QA/QC protocol.
- ❖ CRM Samples: All the CRM Samples analysed are within the range of 2 Standard Deviation.
- ❖ Pulp Duplicate/ Check Samples: Gives a good correlation with the original Assay (R² >99%)
- ❖ Coarse Reject Samples & Quarter core Sample: show good correlation with Original Assay (R² >97%)

**The graphical representation for QAQC performance has been shown for Cr2O3 only; although similar practices are followed for other radicals like Fe, SiO2, Al2O3 etc.

При организации моделирования на горнодобывающем предприятии необходимо учитывать два немаловажных аспекта:

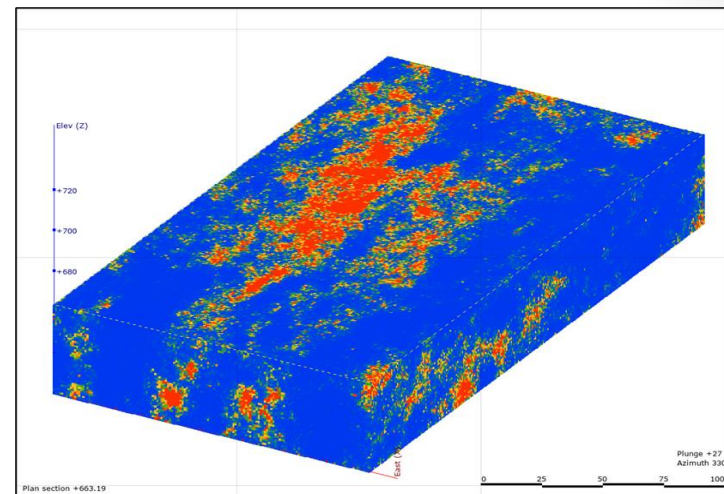
- Параметры блочной модели: Результаты моделирования и соответственно исходные данные для оконтуривания руды в добываемых блоках достаточно сильно зависят от размера блоков моделей, которые должны соответствовать и параметрам сети опробования и системам обработки месторождения. Желательно, обосновывать параметры моделей при проведении опытных работ по обоснованию сети опробования
- Текущие и планируемые в перспективе методы оценки должны соответствовать программному обеспечению



Зависимость ресурсов различных сортов руд от параметров модели контроля содержаний

В настоящее время применяются следующие методы оценки:

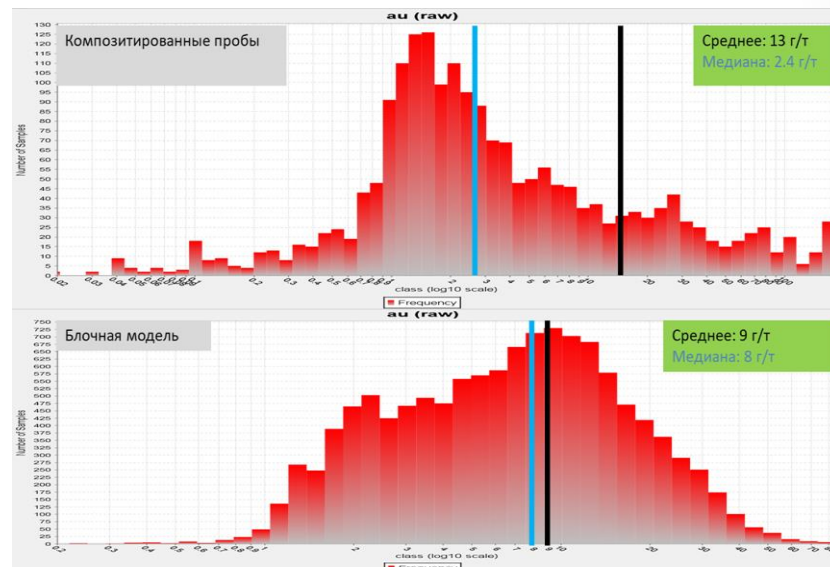
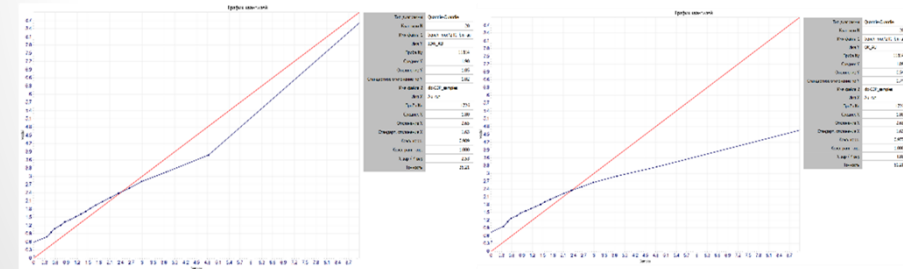
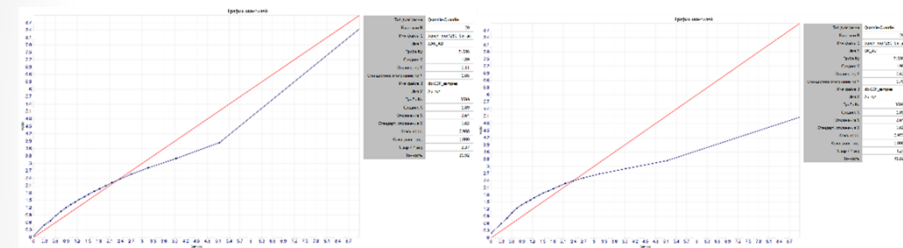
- Ближайший сосед (Nearest Neighbor) - Возможно использование для простых месторождений с небольшой изменчивостью или для доменов с очень высокой плотностью опробования
- Обратные взвешенные расстояния (Inverse Distance Weighted) Относительно простой и быстро исполняемый метод, который может использоваться в качестве метода оценки или заверки. При применении возможно чрезмерное или недостаточное сглаживание результатов. Иногда это единственный доступный метод
- Простой кригинг (Simple Kriging), ординарный кригинг (Ordinary Kriging). Наиболее часто используемый метод. При должной подготовке данных может применяется в 99% случаев.
- Мультииндикаторный кригинг (MIK). Один из методов оценки и учета вложенных популяций в случае, когда они не поддаются ручному оконтуриванию. На месторождениях с очень большой изменчивостью может быть необходимым при оконтуривании различных типов руд.
- В Условное имитационное моделирование (библиотека GSLIB). Моделирование обычно предназначено для генерации значений по гораздо более густой сети, чем исходные данные. Применяется для:
 - Оценка риска: вероятность, что содержание в блоке больше или меньше бортового содержания
 - Анализ выдержанности
 - Классификация ресурсов
 - Оценка потерь руды и разубоживания
 - Оптимизация расстояния между скважинами



При моделировании эксплуатационных блоков необходимо достаточное внимание уделять процедурам валидации блочного моделирования, поскольку оптимальные параметры моделирования могут быть различными для различных участков или горизонтов месторождения.

Ключевые принципы валидации методов моделирования:

- Статистические параметры рассчитанных значений должны соответствовать параметрам распределения в исходных данных
- Необходимо чётко убедиться в отсутствии систематических погрешностей: занижения или завышения рассчитанных данных относительно исходных



В настоящее время на рынке присутствует достаточно много систем диспетчеризации горного производства. Архитектура таких систем является модульной, типичный состав модулей для открытых горных работ следующий: системы связи, системы управления горно-транспортным комплексом, системы высокоточного позиционирования экскаваторной техники, системы управления буровзрывным комплексом. Некоторые продукты также имеют модули по моделированию рудных складов, использующих различные алгоритмы.

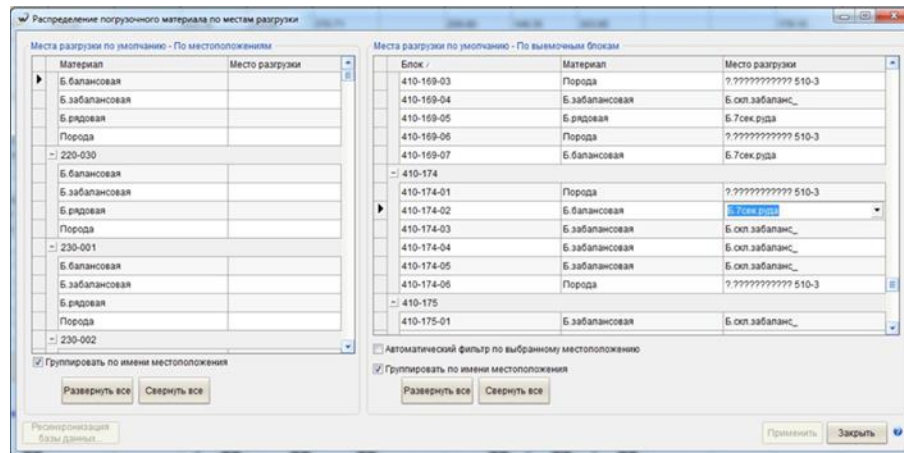
При использовании систем диспетчеризации первым и наиболее важным шагом является загрузка информации о выемочных блоках. Распространённой практикой на рудниках является следующий порядок: спроектированные блоки и рудные контура экспортируются из модуля моделирования геологических моделей и загружаются в систему диспетчеризации. Экспорт между системами может осуществляться автоматически т. е. ручное управление файлами не требуется. Построенные блоки передаются на дисплеи в кабинах погрузочной техники. Системы диспетчеризации позволяют использовать или ручной режим, при котором машинисты оборудования самостоятельно выбирать выемочные блоки, или автоматический, при котором система самостоятельно определяет блоки на основе данных систем позиционирования и ранее загруженных данных. На этапе подготовки и загрузки информации о выемочных блоках необходимо обратить внимание на следующие моменты.

- Информация по качеству руды в блоках должна отражать ожидаемое качество руды на планируемый промежуток времени работы оборудования (смена/сутки)
- Необходимо обеспечить регулярное обновление данных по остаткам горной массы, доступной к отгрузке по всем выемочным блокам.

Распределение автотранспорта (перевозка руды на склады и обогатительную фабрику) в системах диспетчеризации обычно также может осуществляться нескольких режимах: ручном и автоматическом. При ручном режиме сменный руководитель задаёт места разгрузки для каждого спроектированного блока. Управление грузеными самосвалами с использованием такого метода является распространенной практикой на многих рудниках. Этот метод обеспечивает строгое выполнение плана и позволяет снизить число ошибок персонала. Но на практике иногда места разгрузки необходимо менять по операционным причинам которые возникают при нарушении производственного процесса. В этом случае оптимальным является использование функции автоматического распределения самосвалов

В настоящее время многие рудники по всему миру используют системы автоматической выдачи заданий автосамосвалам. Данный метод диспетчеризации основан на алгоритме выдачи заданий который учитывает ряд факторов:

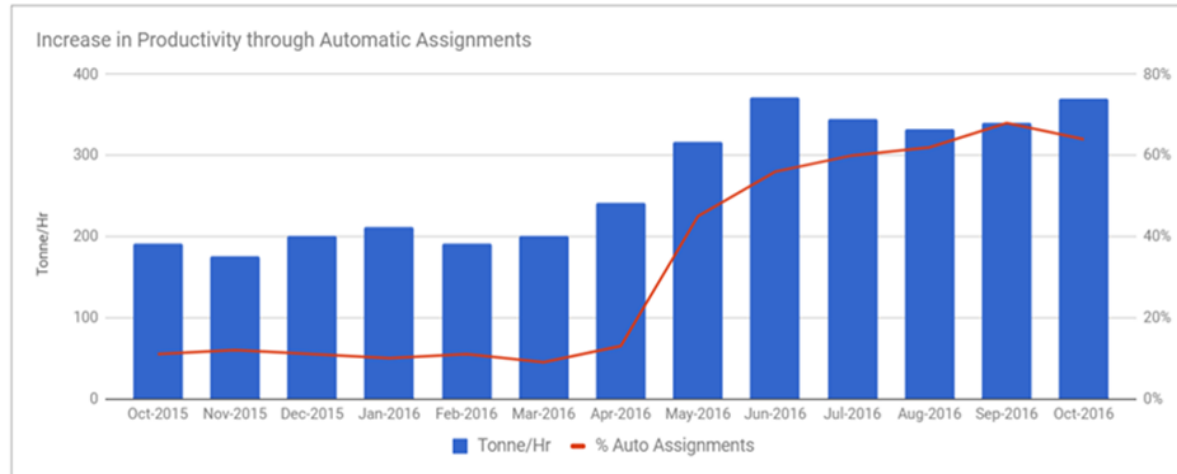
- Динамическое время рейса (корректируется по мере изменения состояния карьерных дорог).
- Текущее время на погрузку и ожидание в очереди.
- Производственные задачи, такие как скорость подачи руды в дробилку и требования к подготовке шихты.
- Другие показатели, такие как тонно-километры в час и уровень топлива.



Окно назначения мест разгрузки по выемочным блокам в системе Wenco

Переход к системе автоматической выдачи заданий автотранспорту, обеспечивает, как правило, ряд преимуществ:

- Повышение производительности на 10-30%.
- Оптимизация процесса шихтования и скорости подачи руды при одновременном снижении влияния на общую объем производства.
- Повышение коэффициента использования оборудования.
- Сокращение непроизводительного времени, например, ожидание в очереди, остановка груженных самосвалов, нецелевые рейсы.
- Принятие более эффективных решений по остановке оборудования для проведения своевременного техобслуживания.
- При наличии модуля моделирования рудных складов, возможна автоматизация процесса шихтования руды, поставляемой на обогатительную фабрику



Пример повышения производительности автотранспорта после перехода на полностью автоматизированную систему выдачи заданий

Автоматизированная система диспетчеризации дает диспетчеру дополнительное время на «совершенствование» производственных процессов, вместо непрерывного ручного управления парком техники.

Для успешного внедрения автоматической системы диспетчеризации необходимо внести всю корректную информацию по показателям содержания в выемочных блоках. Необходимо также иметь в виду, что для получения корректного результата при достижении необходимых показателей по качеству руды необходимо чтобы спроектированные выемочные блоки отражали вариативность качества в пределах блока, т. е. они должны учитывать как направление отработки блока так и изменение качества руды по мере отработки блока.

При наличии рудных складов и автоматизации подачи руды на обогащение также необходимо моделирование рудных складов. Существуют следующие алгоритмы моделирования складов:

- Среднее содержание по складу или сектору
- «Первый пришёл – первый ушёл»
- «Первый пришёл - последний ушёл»
- При наличии соответствующего оборудования возможно трёхмерное моделирование рудных складов с качественными показателями.

Следует подчеркнуть, что реализация системы автоматической выдачи заданий автотранспорту является очень сложным процессом, который потребует значительного объема работ по управлению изменениями, а также длительного периода непрерывного усовершенствования после внедрения системы.

В стандартном исполнении системы диспетчеризации располагают обширной базой данных, содержащей большой объем ценной информации. Но нужно отметить что любые данные, которые не хранятся в базе, могут быть в неё добавлены. Для этого можно подготовить простые формы ввода, что позволит получить следующие преимущества:

- Исключение потери данных в сторонних приложениях;
- Обеспечение целостности данных (формы можно настроить таким образом, что ввод некоторых сведений будет являться обязательным, создание различных типов данных);
- Легкость интегрирования с BI-платформами

Программные системы бизнес-аналитики, такие как SAP Business Objects или MS Power BI, являются относительно недорогими средствами, внедрение которых позволит упорядочить рассылку и доступ к имеющимся данным. Типовые примеры отчетных материалов, формируемых BI-системами на горнодобывающих предприятиях, обычно включают в себя:

- Отчеты, формируемые под конкретные потребности специалистов. Автоматизация процесса формирования отчетов также позволяет снизить объем ручного ввода и минимизировать человеческий фактор.
- Обобщенные данные за смену с возможностью подробного анализа конкретных аспектов. Помогает целевой аудитории обратить внимание на важные показатели (и, следовательно, на потенциальные проблемы).
- Информационные панели с лучшими (худшими) результатами работы конкретных бригад или операторов. Стимулирует изменение поведения и может позволить повысить производительность труда (или достичь других желаемых результатов) за счет внедрения соревновательного элемента.
- Обеспечение доступа к производственным данным на планшетах для мастеров смен. Позволяет получить доступ к данным для принятия более взвешенных оперативных решений без необходимости выезда в диспетчерскую для получения информации.

Наиболее известно работой по сопоставлению и учёту запасов является работа Х. М. Паркера (2012), «Принципы сверки для горнодобывающей отрасли». Согласно определению Х. М. Паркера: «сопоставление — это ключевой процесс, который позволяет определить способность горного предприятия произвести тоннаж, содержание и содержащийся металл, которые были оценены в рудных запасах». Основные параметры, подлежащие сопоставлению, включают прогнозируемые тонны, содержание и металл, которые определены в минеральных ресурсах/рудных запасах, которые сопоставляются с тоннажем, содержанием и металлом, определенными в ходе контроля содержания и в плане горных работ, и затем — с тоннажем, содержанием и металлом, фактически произведенным рудником и переработанным на фабрике.

Три коэффициента, формирующих основу для процесса сопоставления, включают следующее:

- Коэффициент 1 (K1) — сравнивает долгосрочную модель (минеральных ресурсов) и соответствующий план горных работ (рудные запасы) с краткосрочной моделью (блочная модель контроля содержания и план горных работ). Этот коэффициент должен применяться для выявления проблем в относительной избирательности и точности первичной интерпретации рудного тела (а также воздействие увеличенного опробования) и в коэффициентах потери руды и разубоживания, применяемых на этапе определения запасов.
- Коэффициент 2 (K2) — сравнивает краткосрочную модель (блочную модель контроля содержания и проект) с фактическим производством. Этот коэффициент должен применяться для проверки незапланированного разубоживания или дополнительных потерь руды, которые произошли в промежутке между контролем содержания и переработкой на фабрике.
- Коэффициент 3 (K3) — сравнивает относительную точность долгосрочной модели (рудных запасов) с фактически добытым материалом, что, другими словами, является комбинацией коэффициентов 1 и 2.

Наиболее известно работой по сопоставлению и учёту запасов является работа Х. М. Паркера (2012), «Принципы сверки для горнодобывающей отрасли». Согласно определению Х. М. Паркера: «сопоставление — это ключевой процесс, который позволяет определить способность горного предприятия произвести тоннаж, содержание и содержащийся металл, которые были оценены в рудных запасах». Основные параметры, подлежащие сопоставлению, включают прогнозируемые тонны, содержание и металл, которые определены в минеральных ресурсах/рудных запасах, которые сопоставляются с тоннажем, содержанием и металлом, определенными в ходе контроля содержания и в плане горных работ, и затем — с тоннажем, содержанием и металлом, фактически произведенным рудником и переработанным на фабрике.

Три коэффициента, формирующих основу для процесса сопоставления, включают следующее:

- Коэффициент 1 (K1) — сравнивает долгосрочную модель (минеральных ресурсов) и соответствующий план горных работ (рудные запасы) с краткосрочной моделью (блочная модель контроля содержания и план горных работ). Этот коэффициент должен применяться для выявления проблем в относительной избирательности и точности первичной интерпретации рудного тела (а также воздействие увеличенного опробования) и в коэффициентах потери руды и разубоживания, применяемых на этапе определения запасов.
- Коэффициент 2 (K2) — сравнивает краткосрочную модель (блочную модель контроля содержания и проект) с фактическим производством. Этот коэффициент должен применяться для проверки незапланированного разубоживания или дополнительных потерь руды, которые произошли в промежутке между контролем содержания и переработкой на фабрике.
- Коэффициент 3 (K3) — сравнивает относительную точность долгосрочной модели (рудных запасов) с фактически добытым материалом, что, другими словами, является комбинацией коэффициентов 1 и 2.

Согласно отраслевым инструкциям, разработанным в СССР процедурам сопоставления и учёта запасов даны следующие определения:

Основные цели учёта:

- получение полных и достоверных данных о состоянии и движении разведанных запасов в недрах
- обобщение, систематизация и анализ полученных данных с целью определения обеспеченности предприятия разведанными запасами для правильного планирования геологоразведочных, подготовительных, эксплуатационных работ и капитального строительства

Учёт запасов осуществляется отдельно:

- по выемочным участкам
- по способам и системам разработки
- по основным промышленным типам и сортам полезного ископаемого

Инструкциями были предусмотрены следующие виды учёта

- Первичный учёт – на основе оперативного учёта по выемочным участкам. Выемочный участок определяется по степени однородности горно-геологических условий исходя из особенностей принятой системы разработки
- Сводный учёт запасов имеет целью получение обобщённых данных о движении запасов и о их состоянии на начало и конец отчётного периода. Предусматривает оперативный пересчёт разведанных запасов на начало каждого квартала
- Отчётный баланс запасов – ежегодный баланс по формам 5-гр

Если у Вас возникли вопросы по презентации,
пожалуйста, адресуйте их нам, написав на почту: info@srk.ru.com
с пометкой «МАЙНЕКС вопросы».
С удовольствием ответим Вам!

Нам так же было бы интересно получить обратную связь относительно нашей презентации,
её актуальности, других тем, которые были бы Вам интересны в будущем,
по почте: info@srk.ru.com с пометкой «Отзыв»

Copyright and Disclaimer

Copyright (and any other applicable intellectual property rights) in this document and any accompanying data or models which are created by SRK Consulting (Russia) Limited ("SRK") is reserved by SRK and is protected by international copyright and other laws. Copyright in any component parts of this document such as images is owned and reserved by the copyright owner so noted within this document.

The use of this document is strictly subject to terms licensed by SRK to the named recipient or recipients of this document or persons to whom SRK has agreed that it may be transferred to (the "Recipients"). Unless otherwise agreed by SRK, this does not grant rights to any third party. This document shall only be distributed to any third party in full as provided by SRK and may not be reproduced or circulated in the public domain (in whole or in part) or in any edited, abridged or otherwise amended form unless expressly agreed by SRK. Any other copyright owner's work may not be separated from this document, used or reproduced for any other purpose other than with this document in full as licensed by SRK. In the event that this document is disclosed or distributed to any third party, no such third party shall be entitled to place reliance upon any information, warranties or representations which may be contained within this document and the Recipients of this document shall indemnify SRK against all and any claims, losses and costs which may be incurred by SRK relating to such third parties.

SRK respects the general confidentiality of its potential clients' confidential information whether formally agreed with them or not and SRK therefore expects the contents of this document to be treated as confidential by the Recipients. The Recipients may not release the technical and pricing information contained in this document or any other documents submitted by SRK to the Recipients, or otherwise make it or them available to any third party without the express written consent of SRK.

© SRK Consulting (Russia) Limited 2020

version: September 2020