

MINE TWIN

Сборник кейсов

mine-twin.ru



MINE TWIN

ПРИМЕР ВНЕДРЕНИЯ

ВАЛИДАЦИЯ ПЛАНОВ ПЕРЕЗАПУСКА РУДНИКА С ПОМОЩЬЮ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ КАПИТАЛЬНЫХ ЗАТРАТ И ПЛАНИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВА

ЗАДАЧА

South Crofty - подземный оловянный рудник в Корнуолле, Великобритания который предполагает реконструкцию. Первоначальный план отработки был рассчитан с помощью статических инструментов планирования и не соответствовал действительности. Не учитывались взаимная работа оборудования, очереди и др. факторы. Руководство сомневалось в плановых значениях добычи, пропускной способности поверхностного комплекса, потребности в закупках дополнительного оборудования и размещении техники по горизонтам на начальном периоде отработки месторождения.

РЕШЕНИЕ

Разработана имитационная модель в MineTwin на основе:

- Схемы рудника (очистные камеры, выработки, рудоспуски, дробилки и т.д.)
- Планов производства и спецификаций оборудования (погрузчики, горизонтальные и вертикальные буровые установки, самосвалы, зарядные машины и т.д.)
- Графиков смен и взрывных работ

Выполнена интеграция с ГГИС заказчика (Deswik) и верификация модели экспертной командой. Разработан сценарий на 5 лет отработки месторождения, включая все вспомогательные работы.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Моделирование выявило критические узкие места:

- На 2-ой год отработки **дополнительно требуется 3 ПДМ** для выполнения планов по проходке
- На 5-ый год отработки **дополнительно необходима 1 ПДМ** для выполнения планов
- На поверхности эффективно использовать бункер с автоматическим дозатором. Технологически цепочка: самосвал – ПДМ – бункер на поверхности **не эффективна**.

Классические расчеты не учитывали простои, вызванные несоответствием оборудования. MineTwin позволил **эффективно оптимизировать** расстановку оборудования по горизонтам для преодоления ограничений по связанности на ранних этапах.

КЛИЕНТ



Tomahee – компания занимающаяся оптимизацией горных работ, которая помогает в аудите и экспертизе всей цепочки создания стоимости и комплексной поддержки планирования.

CornishMetals

Cornish Metals – компания по разведке полезных ископаемых занимающаяся перезапуском оловянного рудника South Crofty.

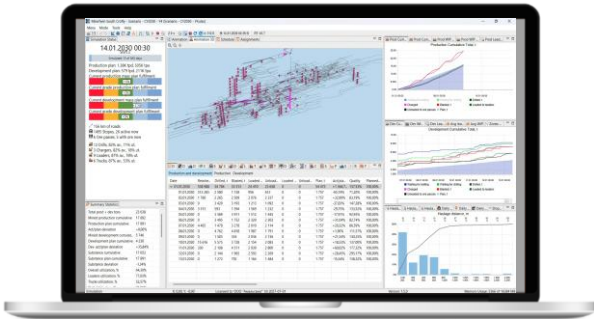
Контекст

South Crofty подземный рудник по добыче олова в Корнуолле, которую реконструирует компания Cornish Metals. Для валидации плана перезапуска производства, который включает капремонт ствола, развитие подземной инфраструктуры и поэтапное наращивание объемов добычи компания Tomahoe совместно с компанией Амальгама использовали MineTwin для моделирования горных работ.

Имитационная модель позволила выявить ограничения и узкие места для обоснования и достижимости планов.

Цели проекта

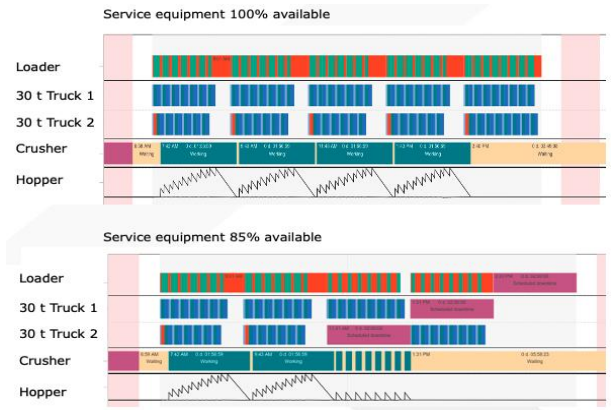
- **Валидировать план перезапуска рудника:** оценить реализуемость стратегии развития и добычи с помощью динамического моделирования вместо классических расчетов производительности рудника.
- **Выявить ограничения:** обнаружить и количественно оценить и обосновать узкие места системы (например, ограничения ПДМ и поверхностных самосвалов), которые могут повлиять на выполнения планов на различные периоды.
- **Расчет парка техники и расстановка оборудования:** использовать анализ чувствительности и инструменты расчета оптимального парка техники, чтобы рекомендовать улучшения в распределении ПДМ и самосвалов, особенно в период развития рудника с учетом работы оборудования поверхностного комплекса.



Анализ работы поверхностного комплекса

Моделирование работы поверхностного комплекса рудника показало, что проектные решения не позволяют достичь целевых показателей суточной и годовой производительности даже в идеальных условиях. При доступности поверхностного оборудования в 85%, суточная производительность не достигала 66%, что приводит к невыполнению планов за год на 9% по руде и на 18% по ГПР.

Даже при 100% доступности производительность рудника составляла ≈1800 тонн/сут., что ниже плановых (1950 тонн/сут.). Сравнение сценариев показало, что увеличение емкости поверхностного бункера до 200 тонн и переход на автоматическую погрузку или использование 8-тонного погрузчика позволяют обеспечить работу дробилки во время простоев скипового подъема.



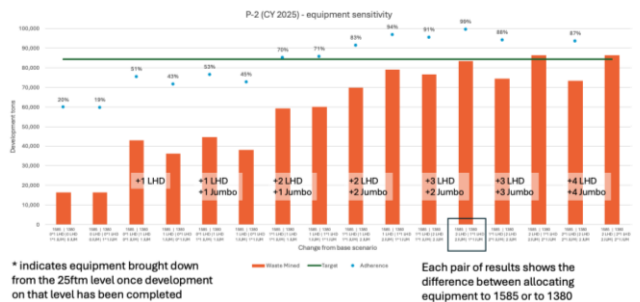
Состав парка техники и его распределение

На этапе подготовки к добыче на South Crofty определение оптимального парка техники стало критическим фактором из-за отсутствия необходимых рудоспусков и слабой связанности горизонтов рудника. Моделирование 1-го года показало, что первоначальный план с одним погрузчиком был неприемлем для целей проходки, поскольку всю горную массу приходилось перемещать ПДМ без перегрузки в самосвалы (из-за ограничений выработок по высоте и неготовности инфраструктуры).

Погрузчики использовались неэффективно и были вынуждены выполнять транспортировку на длинные плечи к временным складам руды и вскрыши, что приводило к значительным задержкам. Анализ чувствительности показал, что для выполнения плановых показателей требуется как минимум три дополнительных ПДМ наряду с несколькими проходческими установками.

К следующему году план улучшился, но производительность была достижимой только при определенных стратегиях распределения оборудования, особенно когда ПДМ работали в паре с самосвалами и могли разгружаться в рудоспуски. Анализ подтвердил, что конкуренция задач за ресурсы и изолированность техники на ранних этапах вызванные несвязанностью горизонтов рудника требовали как увеличения количества оборудования, так и более скоординированного выполнения задач, чтобы избежать простоев и не останавливать добычу.

Equipment sensitivity analysis: P-2 (2025)





АВТОНОМНАЯ ПЕРЕВОЗКА КАРЬЕРНЫМИ САМОСВАЛАМИ ПОВЫШАЕТ NPV РУДНИКА НА 7%

ЗАДАЧА

Команды **Pronto.AI** (поставщик AHS) и **Whittle Consulting** совместно с компанией **Амальгама** оценивали, смогут ли **меньшие по грузоподъёмности автономные самосвалы** экономически и операционно превосходить **управляемые человеком более крупные**.

Традиционный подход к расчётам LOM (life-of-mine) опирается на **линейные оценки** темпов добычи, **не учитывающие: очереди** самосвалов у экскаваторов и на разгрузке, а также **снижение скорости** движения из-за человеческого фактора (перерывы, неравномерность скорости).

РЕШЕНИЕ

- Сформирован базовый сценарий горных работ (Северная Америка) на основе простой ресурсной модели: карьеры в три фазы, дорожная сеть, обогатительная фабрика.
- Создано **9 сценариев** (по 3 на каждую стадию добычи) с вертикальным перепадом расстояний в карьере **от 10 до 324 м**.
- В каждом сценарии варьировались **количество самосвалов и экскаваторов**.
- Проведено **924 имитационных эксперимента** MineTwin на сервере в автоматическом режиме.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Доказано, что **автономные самосвалы грузоподъёмностью 40 т** повышают NPV рудника на **31%** по сравнению с **управляемыми человеком 100-тонными**, и на **7%** — по сравнению с **автономными 100-тонными**.

Показан существенный потенциал **снижения затрат** в вскрышных работах за счёт AHS на основе **менее габаритных** карьерных самосвалов.

О КЛИЕНТЕ



PRONTO

Pronto.AI – поставщик автономных систем для внедорожной перевозки в тяжёлых и удалённых горных условиях..

Whittle
Consulting

Whittle Consulting – специалисты по интегрированному стратегическому планированию рудников и оптимизации цепочки создания стоимости.

Предпосылки

Pronto.AI обратилась к Whittle Consulting для количественной оценки экономического эффекта AHS на горизонте LOM.

Классические LOM-модели **не учитывают**:

- **очереди у экскаваторов** (связка «самосвал– экскаватор»),
- **очереди на разгрузке** (заторы),
- **снижение скорости транспортировки из-за человеческого фактора** (перерывы, **неравномерная скорость движения**).

Для корректного учёта этих эффектов при изменении состава и размера парка требовался **более детальный подход**.

Whittle Consulting привлекла компанию Амальгама для использования инструмента MineTwin при подборе **оптимальной конфигурации** парка самосвалов и экскаваторов.

Тестировались варианты карьера на трёх стадиях жизненного цикла:

- **мелкий** (20–68 м),
- **средний** (116–196 м)
- и **глубокий** (244–324 м) карьеры.

Почему MineTwin?

MineTwin специально разработан для горных работ. Он позволяет детально моделировать взаимодействие «самосвал– экскаватор», очереди, задержки и простои.

Инструмент обеспечивает **быстрое и гибкое** тестирование сценариев состава парка техники и графиков работы, позволяя принимать решения на основе **реалистичного поведения** системы.



Анализ сценариев и расчет NPV

Базовый сценарий горных работ (Северная Америка) был создан на основе простой ресурсной модели: карьеры в три фазы, дорожная сеть, обогатительная фабрика.

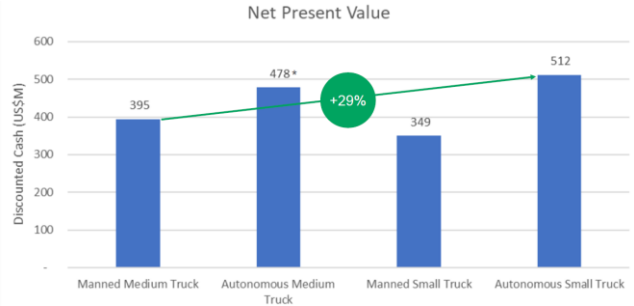
Для каждого сценария подбиралась **комбинация самосвалов и экскаваторов**, минимизирующая потери времени из-за очередей/заторов при условии выполнения целевого плана. Эти **оптимальные размеры парка техники** затем использовались в LOM-расчётах. Были получены следующие результаты:

Сценарий 1 (базовый): управляемые человеком 100-тонные самосвалы — точка отсчёта NPV.

Сценарий 2 (AHS, 100 т): роботизация 100-тонных самосвалов дала **+23% NPV** за счёт их более эффективного использования и снижения ФОТ.

Сценарий 3 (человек, 40 т): уменьшение размера без роботизации — **-9% NPV** (рост трудозатрат и заторов перекрыл выгоды от меньшего CAPEX/OPEX).

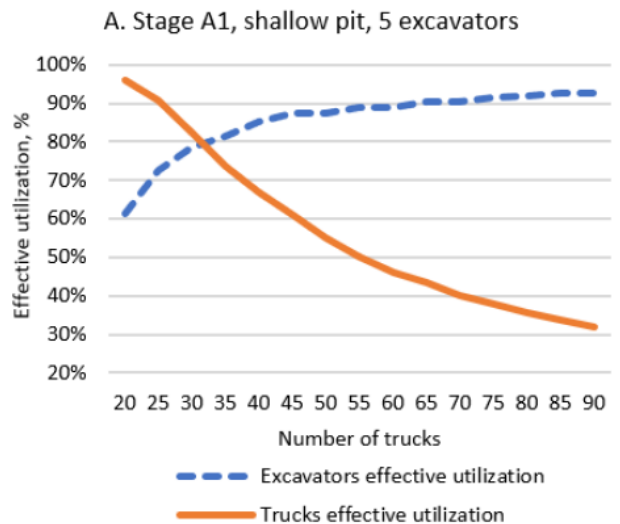
Сценарий 4 (AHS, 40 т): лучший результат — +31% NPV к базе; роботизация снизила трудозатраты, повысила скорости транспортировки и сократила заторы, сделав меньшие самосвалы наиболее экономически выгодными.



Анализ состава парка техники

В MineTwin протестировано **924** вариантов состава парка на разных глубинах карьера, чтобы найти связи «самосвал– экскаватор», позволяющие выполнить **целевые объёмы перевозки** при **минимальных потерях** на очереди и задержки.

Оптимальные размеры парка **зависели от глубины карьера и типа самосвалов** — ещё одно подтверждение необходимости **имитационного моделирования** при планировании парка





ОПТИМИЗАЦИЯ КОНФИГУРАЦИИ СКЛАДА И ПАРКА ТЕХНИКИ НА УГОЛЬНОМ КАРЬЕРЕ В ЮЖНОЙ АФРИКЕ

ЗАДАЧА

Определить, нужен ли промежуточный склад перед конвейером — и если да, то каким должен быть его оптимальный размер

Определить минимальное количество самосвалов, бульдозеров и экскаваторов, необходимое для стабильного выполнения плановых показателей после расширения карьера

Оценить уровень выполнения плана с учетом реальных ограничений по доступности техники

РЕШЕНИЕ

В MineTwin была построена подробная цифровая модель производственного цикла карьера, включающая:

- Реалистичное воспроизведение горнотехнических процессов, расстояний перевозки (0,8–3,5 км) и циклов работы техники
- Моделирование производственных процессов с промежуточным складом и без него
- Сценарный анализ с проверкой различных конфигураций парка техники

РЕЗУЛЬТАТЫ

Моделирование подтвердило, что промежуточный склад на 10 тыс. тонн повышает устойчивость работы и снижает вероятность невыполнения плана на 90%

Модель определила оптимальные размеры парка техники для достижения высоких показателей выполнения плана при ограниченной доступности оборудования

Выявлено, что после расширения карьера потребуется дополнительно 7 бульдозеров и 6 самосвалов

О КЛИЕНТЕ

Один из крупнейших угольных карьеров в Южной Африке, ведущий добычу открытым способом

Контекст проекта

Проект реализован на одном из крупнейших угольных карьеров ЮАР с расстояниями перевозки от 0,8 до 3,5 км.

Рудник использует систему «самосвал – экскаватор – конвейер». Руководство рудника инициировало исследование для:

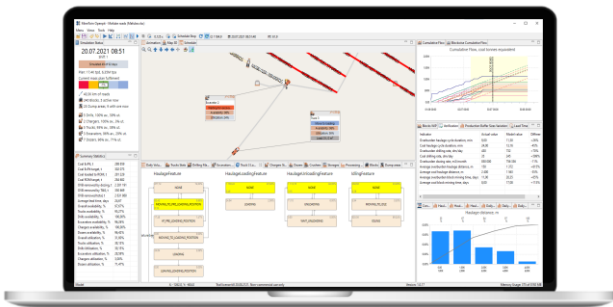
- улучшения планирования парка техники
- оценки стратегии буферизации на подаче в конвейер

Ключевые вопросы

Исследование было вызвано необходимостью ответить на ряд вопросов:

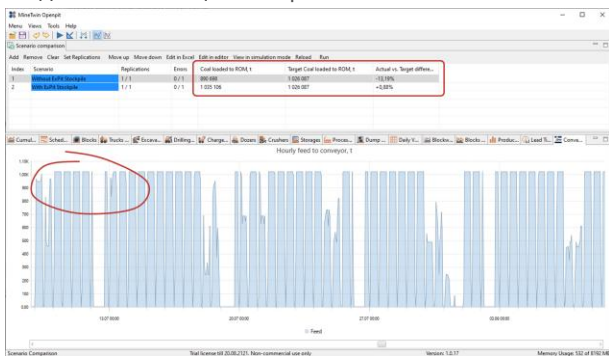
- Нужен ли **буферный склад** перед конвейером?
- Если нужен, то какой объем будет **оптимальным**?
- **Сколько самосвалов** требуется для выполнения плана?
- **Сколько бульдозеров** необходимо для поддержания разгрузки и зачистки?
- Какое **минимальное количество экскаваторов** необходимо для стабильного выполнения дневных планов?

Все сценарии оценивались при доступности техники на уровне 95% — в соответствии с реальными условиями эксплуатации и ремонта.



Влияние промежуточного хранения

- Склад на 10 тыс. тонн перед конвейером значительно сокращает задержки и обеспечивает более плавную работу системы
- Эффект особенно заметен при непостоянной длительности цикла перевозки



Оптимизация парка техники

MineTwin определил оптимальные размеры парка, обеспечивающие выполнение плана с минимальными излишками:

- **Избыточный парк** не давал пропорционального прироста производительности.
- **Недостаточный парк** быстро приводил к невыполнению плана даже при высокой доступности техники
- Определено что потребуется **дополнительно 7 бульдозеров и 6 самосвалов** для обеспечения функционирования карьера после его расширения

		Кол-во бульдозеров			
		4	5	6	7
Кол-во самосвалов	4	-35,19%	-23,80%	-9,37%	-5,81%
	5	-36,64%	-19,20%	-4,53%	-1,66%
	6	-33,39%	-17,73%	-5,99%	0,61%
	7	-33,52%	-16,71%	-1,73%	0,54%

Почему MineTwin?

Разработан специально для горной промышленности:

- В отличие от универсальных инструментов, предназначен для воспроизведения реальной работы как открытых, так и подземных рудников
- Детально моделирует взаимодействие техники, включая координацию «самосвал – экскаватор», задержки в очередях и циклы перевозки
- Это позволяет учитывать нелинейные ограничения и циклические зависимости, которые не видны в Excel или при линейном программировании

Соединяет стратегическое планирование с оперативным управлением:

- Позволяет проверять реализуемость планов с учетом доступности техники, геологических особенностей и технологических ограничений

MineTwin масштабируем и адаптируем:

- MineTwin позволяет создавать на своей основе внутренний центр компетенций, с помощью которого становится возможным создавать модели на единой платформе для нескольких рудников
- MineTwin достаточно гибок для адаптации к различным конфигурациям рудников и технологических процессов
- После внедрения, MineTwin дает возможность внутренним специалистам самостоятельно проводить сценарный анализ, оптимизацию парка техники и оценивать операционные изменения – поддерживая таким образом постоянные улучшения и обоснованные инвестиционные решения.

КЕЙС #4



ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВОЗМОЖНОСТЕЙ УЛУЧШЕНИЙ НА СЛОЖНОМ ПОДЗЕМНОМ РУДНИКЕ

ЗАДАЧА

Сложный подземный рудник в Северной Америке, включающий несколько рудных тел и зоны горнопроходческих работ, обслуживаемые общей инфраструктурой, нуждался в инструменте для объективной оценки различных инициатив по повышению эффективности.

Традиционные методы планирования — графики работ и расчёты в Excel — не позволяли корректно учесть:

- взаимодействие оборудования между собой;
- конкуренцию за ресурсы между производственными зонами;
- ограничения наземной и подземной инфраструктуры.

РЕШЕНИЕ

Мы разработали имитационную модель MineTwin, включающую:

- Полную планировку рудника: выработки, забои, рудоспуски, ж/д инфраструктуру, логистику на поверхности и др.
- Взаимодействие техники между собой и с объектами инфраструктуры при погрузке, бурении, вывозе руды и ее подаче на фабрику
- Несколько производственных зон с закрепленной техникой и персоналом

Мы импортировали проектные данные из Deswik и провели валидацию логики модели совместно со специалистами рудника.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Моделирование помогло получить ответы по всем гипотезам:

- **Дополнительные рудоспуски** не увеличили производительность, но дали **13% роста эффективности** (меньше холостых пробегов, ниже расход топлива)
- **Дополнительный персонал** в 3 производственных зонах дал **рост производительности на 20%**
- **Бурение является узким местом**: + 1 буровая установка = **+10% к производительности**
- При определенных условиях **вывоз породы** также становится **ограничением**

КЛИЕНТ

MOSIMTEC
future proof your business.

MOSIMTEC помогает компаниям принимать более качественные решения в условиях постоянных изменений — от меняющегося климата до нарушений цепочек поставок, автоматизации и глобальных вызовов. Направляя организации по пути создания моделей и цифровых двойников, **MOSIMTEC** помогает не просто подготовиться к изменениям, но и уверенно их принимать

Горнодобывающая компания

Из-за особенностей проекта конечный заказчик не называется. Все приведённые данные обезличены. Скриншоты — с похожего, но другого рудника

Предпосылки

Заказчику было необходимо **увеличить производительность** без излишнего роста затрат. Были определены гипотезы по улучшению — от изменения парка техники до перераспределения персонала, но у команды не хватало времени, ресурсов и бюджета, чтобы протестировать каждую из них в реальных условиях.

Предприятию требовался **безрисковый способ** оценить эти идеи, **количественно измерить** эффекты и **расставить приоритеты** с учётом ограниченного бюджета и сроков.

Чтобы решить эту задачу, компания привлекла MOSIMTEC для разработки **цифрового двойника рудника** на основе имитационной модели.

Цели проекта

- **Оценить инициативы по улучшению** в безопасной среде, моделируя изменения в операциях без вмешательства в реальную работу рудника.
- **Количественно определить эффект** предлагаемых изменений на производительность, эффективность и затраты для обоснованного принятия решений
- **Определить приоритеты инициатив** с учётом их окупаемости (ROI) и реализуемости, направляя ограниченные ресурсы и время на наиболее эффективные решения.

Почему MineTwin?

MineTwin — это инструмент моделирования, разработанный специально для горных работ. Он позволяет детально моделировать процессы бурения, зарядки, взрывов, погрузки и транспортировки породы.

Модель учитывает планирование работ, взаимодействие техники (самосвалов и погрузчиков), очереди, задержки и возможные простои.

MineTwin поддерживает **быстрое и гибкое тестирование** различных гипотез, помогая специалистам и руководству принимать обоснованные решения, основанные на **реалистичном воспроизведении производственного процесса**.

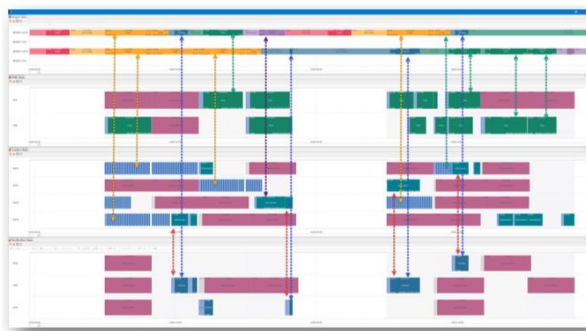
Анализ цикла горных работ

Используя отчёты MineTwin и диаграммы Гантта, команда проанализировала процессы, чтобы выявить узкие места.

Ключевым выводом стало то, что **бурение являлось основным ограничением** на протяжении большей части моделируемого периода.

В отличие от другой техники, буровые установки **не могут самостоятельно перемещаться** и требуют участия погрузчиков и персонала для перестановки между забоями. По этой причине определение такого узкого места обычными расчётами практически невозможно. Моделирование показало, что погрузчиков достаточно, но буровых установок не хватает, чтобы вовремя готовить выработки.

Сценарный анализ также выявил, что наибольший прирост эффективности достигается при **одновременном добавлении буровых установок и персонала**, причём доступность персонала оказывает **наибольшее влияние** на общий результат.



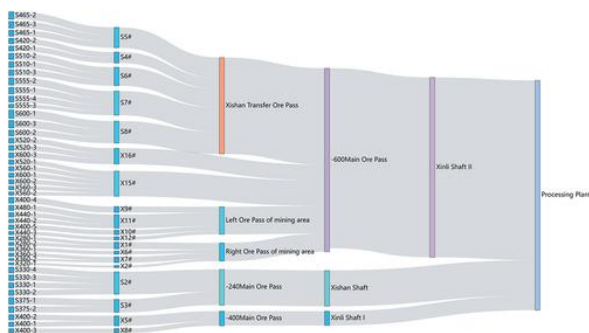
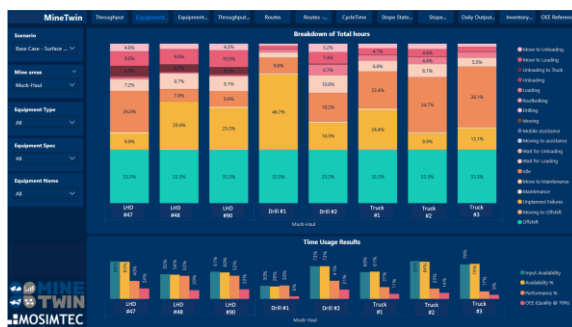
Оценка эффекта от дополнительной инфраструктуры

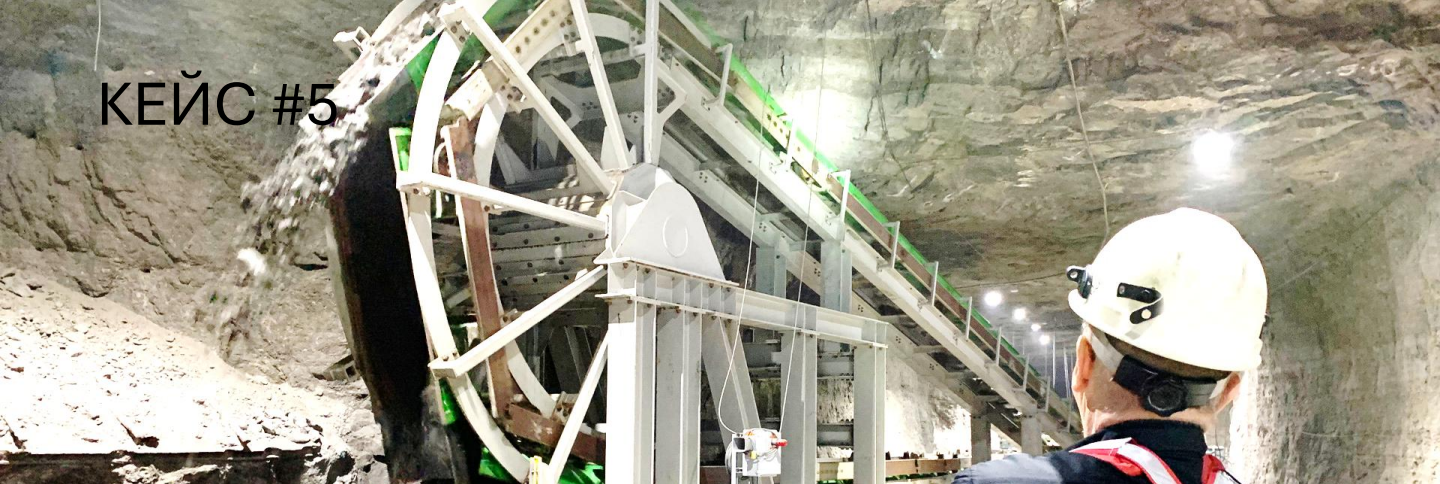
Одной из ключевых инициатив, протестированных в симуляции, было **увеличение количества рудоспусков** в подземном руднике. Долгое время считалось, что большее число точек разгрузки между уровнями улучшит движение горной массы, сократит время ожидания и, в итоге, повысит общую производительность.

Однако моделирование в MineTwin дало неожиданный результат: **вывоз породы не являлся ограничением системы**. Модель показала **13% рост эффективности логистики** — суммарный пробег с грузом уменьшился, что привело к небольшому снижению расхода топлива, **но не к росту производительности**.

Этот на первый взгляд нелогичный вывод оказался крайне важным. Без симуляции команда была готова **вложить значительные средства** в строительство новой инфраструктуры, считая её ключом к увеличению мощности.

Подтверждение данных моделированием позволило **избежать многомиллионных капитальных затрат** и направить ресурсы на те изменения, которые действительно увеличивают производительность.





МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ РУДНИКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМЫ ГИБКОЙ САМОХОДНОЙ ОТКАТКИ ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ РУДЫ

ЗАДАЧА

- Смоделировать и проверить **технические решения** проекта с применением системы гибкой самоходной откатки (СГСО, англ. Railveyor®)
- Рассчитать **производительность рудника** на различные периоды при условии использования СГСО
- Определить **узкие места** при использовании различных схем откатки СГСО (тупиковая, кольцевая и т.д.)
- Оценить эффективность применения СГСО
- Определить **оптимальное количество** и технических параметры составов СГСО.

РЕШЕНИЕ

- Созданы **сценарии для ключевых годов** отработки.
- **Смоделирована** диспетчеризация и планирование работы СГСО по различным маршрутам, с учетом взаимодействия составов на разъездах и движения в местах разгрузки (околоствольный двор) при различных схемах движения
- Выполнены **исследования** по определению оптимальной емкости и количества составов СГСО
- Проведена **интеграция с ГГИС** заказчика для автоматизации разработки сценариев.

РЕЗУЛЬТАТЫ

- **Доработана** изначальная схема движения СГСО. На более поздних этапах отработки требуется дополнительная ветка путей для разъезда составов СГСО
- **Смоделированы** и верифицированы технические параметры составов для дальнейшего обоснования ТЗ на проектирование составов СГСО.

О КЛИЕНТЕ

ООО «НИПИ Горного дела»

Научно-исследовательский проектный институт Горного дела

Контекст проекта

Проект включал моделирование инфраструктуры и работы СГСО рудника на различные периоды отработки месторождения

Каждый этап предусматривал:

- Проверку проектных решений и расчетного парка техники по критериям производительности и доступности
- Моделирование движения составов СГСО с учетом:
 - скорости транспортировки на магистральных путях;
 - скорости движения при погрузке/разгрузке
 - технических параметров вагонов и составов
 - маршрутов движения отдельных составов
 - взаимодействия составов на разъездах
 - снижения скорости передвижения составов на поворотах и разгон на прямых участках
- Проведение исследований и сценарного анализа с помощью имитационной модели и интерпретацию результатов
- Детальный расчет показателей работы, 2D и 3D визуализация работы СГСО.

Дополнительно:

- Выполнена интеграция MineTwin с ГГИС заказчика, что позволило автоматизировать создание сценариев.



Ключевые вопросы

Моделирование в MineTwin должно было ответить на следующие вопросы:

- Верны ли **проектные решения**?
- Какой парк СГСО будет **оптимален** для выполнения плана?
- **Сколько составов** необходимо для выполнения плана на различных этапах отработки месторождения?
- **Достаточно** ли пропускной способности горно-транспортной системы в целом?

Режим исследования

Режим «Исследование» и анализ парка техники позволил найти артефакты, необходимые для планирования и увеличения добычи рудника, например, автоматический расчет параметров составов СГСО и их влияние на производительность.



Почему MineTwin?

Разработан специально для горной промышленности:

- В отличие от универсальных инструментов, предназначен для воспроизведения реальной работы как открытых, так и подземных рудников
- Детально моделирует взаимодействие техники, включая циклично-поточную технологию транспортировки
- Это позволяет учитывать нелинейные ограничения и циклические зависимости, которые не видны в Excel или при линейном программировании.

Соединяет стратегическое планирование с оперативным управлением:

- Позволяет проверять реализуемость планов с учетом доступности техники, геологических особенностей и технологических ограничений.

MineTwin масштабируем и адаптируем:

- MineTwin позволяет создавать на своей основе внутренний центр компетенций, с помощью которого становится возможным создавать модели на единой платформе для нескольких рудников
- MineTwin достаточно гибок для адаптации к различным конфигурациям рудников и технологических процессов
- После внедрения, MineTwin дает возможность внутренним специалистам самостоятельно проводить сценарный анализ, оптимизацию парка техники и оценивать операционные изменения – поддерживая таким образом постоянные улучшения и обоснованные инвестиционные решения.

КЕЙС #6



МОДЕЛИРОВАНИЕ ГОРНОРУДНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ ДЛЯ СРАВНЕНИЯ ВАРИАНТОВ ОПЕРАЦИОННЫХ РЕШЕНИЙ НА СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

ЗАДАЧА

Рассчитать **показатели работы** карьера на 1, 7, 15 и 25 годы.

Были выполнены следующие задачи:

- Проверить **технические решения** проекта.
- Учесть **простои** техники по метеоусловиям
- Оценить эффективность **циклично-поточной технологии (ЦПТ)**
- Определить **оптимальный парк техники** (включая транспортировку отходов фабрики).

РЕШЕНИЕ

Были созданы **сценарии для ключевых годов** отработки, в которых:

- Учтены **сезонные простои** техники
- Смоделирована **транспортировка отходов** фабрики.

Выполнен **сценарный анализ** (CAPEX, OPEX).

Проведена **интеграция с ГГИС** заказчика для автоматизации сценариев.

РЕЗУЛЬТАТЫ

- Изменён **генплан** (фабрика перенесена ближе к карьере)
- Сравнены **технологии транспортировки** руды и отходов
- Определены **оптимальные парки** техники
- Выявлены **«узкие места»** производственного процесса.

КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ЭФФЕКТЫ

- **+1 экскаватор** (ковш 20 м³) → **+1,48 млн т руды** и **+2,3 млн т вскрыши**.
- **Оптимизация** парка бульдозеров: **8 вместо 9** (экономия ≈ **30–40 млн ₽**).
- Конвейер для транспортировки кека **в 2 раза** эффективнее самосвалов 130 т.

О КЛИЕНТЕ

Новое железорудное месторождение планируемое к разработке открытым способом в Якутии, РФ

Контекст проекта

Проект включал моделирование работы предприятия на 1, 7, 15 и 25 год, включая переработку руды фабрикой (целевой продукт и отходы — обезвоженные хвосты/ кека).

Каждый этап предусматривал:

- Сравнение способов транспортировки вскрыши: самосвалы, ЦПТ или комбинированный вариант.
- Учёт сезонных факторов (низкие температуры), вызывающих простои техники и снижение производительности.
- Проверку проектных решений и расчетного парка техники по критериям производительности и доступности.
- Проведение сценарного анализа с помощью имитационной модели и интерпретацию результатов.

Дополнительно:

- Выполнена интеграция MineTwin с ГГИС заказчика, что позволило автоматизировать создание рудных и вскрышных блоков и ускорить подготовку новых сценариев.

Ключевые вопросы

Моделирование при помощи MineTwin должно было ответить на следующие вопросы:

- **Верны ли проектные решения** по фабрике и технике?
- Какой парк техники будет **оптимален** для выполнения планов по руде/вскрыше?
- **Сколько бульдозеров** необходимо для отвалов, зачистки и склада руды?
- **Когда выгодно** применять ЦПТ для вскрыши?
- **Что эффективней:** транспортировка кека конвейером или самосвалами и какова потребность в оборудовании?
- **Как климат** влияет на производительность карьера?

Расчет парка оборудования

7-й год отработки:

Добавление 1 экскаватора (20 м³) дает прирост по добыче:

- **руды:** +1,48 млн т
- **вскрыши:** +2,3 млн т

Решения по фабрике

- Конвейер для кека эффективнее самосвалов 130 т более чем в **2 раза**.
- Моделирование подтвердило необходимость **переноса фабрики** для сокращения плеча доставки и **повышения рентабельности**.

Расчет парка бульдозеров

- Оптимально: **8 вместо 9** (экономия 30–40 млн ₽).
- Подтверждена потребность: 10 ед. с производительностью 260–300 т/ч.

Почему MineTwin?

Разработан специально для горной промышленности:

- В отличие от универсальных инструментов, предназначен для воспроизведения реальной работы как открытых, так и подземных рудников
- Детально моделирует взаимодействие техники, включая циклично-поточную технологию транспортировки
- Это позволяет учитывать нелинейные ограничения и циклические зависимости, которые не видны в Excel или при линейном программировании

Соединяет стратегическое планирование с оперативным управлением:

- Позволяет проверять реализуемость планов с учетом доступности техники, геологических особенностей и технологических ограничений

MineTwin масштабируем и адаптируем:

- MineTwin позволяет создавать на своей основе внутренний центр компетенций, с помощью которого становится возможным создавать модели на единой платформе для нескольких рудников
- MineTwin достаточно гибок для адаптации к различным конфигурациям рудников и технологических процессов
- После внедрения, MineTwin дает возможность внутренним специалистам самостоятельно проводить сценарный анализ, оптимизацию парка техники и оценивать операционные изменения – поддерживая таким образом постоянные улучшения и обоснованные инвестиционные решения.



МОДЕЛИРОВАНИЕ 6 ПОДЗЕМНЫХ РУДНИКОВ ПОЗВОЛИЛО ВЫЯВИТЬ 2,5 МЛРД. РУБ ЭКОНОМИИ

ЗАДАЧА

Головной офис не может проверить обоснованность количества техники, запрашиваемой рудниками. Рудники жалуются на нехватку техники для выполнения производственного плана.

Оценить эффективность новых технологий добычи и транспортировки руды сложно из-за множества переменных ограничений и нелинейных взаимосвязей в подземных рудниках.

РЕШЕНИЕ

Проверить выполнимость горного плана и оценить влияние новых технологий с помощью имитационных моделей.

Проанализировать сценарии в MineTwin для определения необходимого количества техники к закупке на каждый год.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Экономия 2,5 млрд. руб. благодаря оптимизации парка техники.

ROI от внедрения MineTwin превысил 800% за счёт более эффективного планирования и перераспределения техники между рудниками.

Рассчитана рентабельность 10 инновационных инициатив, включая использование скоростных проходческих комплексов, рельсовых транспортёров, пересменку "на горячую" и другие.

О КЛИЕНТЕ



Норникель — один из крупнейших в мире производителей аффинированного никеля и палладия, управляющий сложными подземными горнодобывающими активами в Евразии.

Контекст

Норникель, ведущий мировой производитель никеля и палладия, внедрил систему поддержки принятия решений на основе моделирования (MineTwin) для повышения качества планирования и координации на шести своих подземных рудниках.

Модель используется более трёх лет и поддерживается командой из трёх специалистов в головном офисе.

Цель

Повысить точность и эффективность оперативного планирования и устранить разрыв между стратегическим и краткосрочным планированием техники.

Традиционные инструменты планирования не учитывают сложные взаимодействия ресурсов и ограничения, особенно касающиеся координации техники и выполнения сменных заданий.

Решение

Разработана высокоточная имитационная модель, воспроизводящая работу шести подземных рудников. Модель учитывает правила планирования смен и внутрисменное взаимодействие персонала и техники, в том числе логику для учета ключевых ограничений, таких как:

- Взаимодействие погрузчиков и самосвалов (ПДМ и транспортные машины)
- Доступность и перемещение оборудования
- Выполнение производственных целей (дневных, декадных, месячных)
- Геотехнические и геологические ограничения

MineTwin стал связующим звеном между стратегическим планом освоения месторождений и его фактической реализацией, позволяя проверять выполнимость годовых, месячных и суточных планов с учетом реальных ограничений.

Результаты внедрения

- Смоделировано более **10 типов технологического оборудования**
- Учтено более **500 единиц техники**
- Рассчитан с использованием модели **размер парка** вспомогательной техники
- **Оптимизирован основной парк техники** по результатам моделирования
- Оценено с помощью **MineTwin** силами внутренних специалистов множество бизнес-кейсов

Ключевые преимущества MineTwin

Прозрачность: Повышает видимость процессов на руднике, позволяя анализировать ключевые KPI

Точность планирования: Поддерживает реалистичное планирование с учётом ограничений и логики процессов

Масштабируемость: Одна модель и команда поддерживают шесть рудников, снижая затраты и обеспечивая единый подход

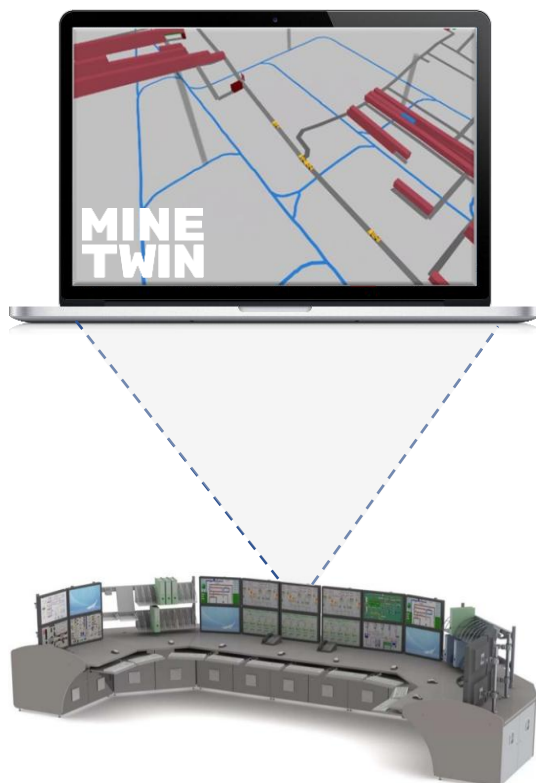
Основа для цифрового двойника: Логика симуляции закладывает фундамент для полноценного цифрового двойника, объединяющего планирование, диспетчеризацию и исполнение

Центр компетенций MineTwin

В техническом подразделении клиента создан центр компетенций MineTwin, поддерживающий моделирование для шести подземных рудников.

Команда из 3–5 специалистов разрабатывает и сопровождает модели, применяя их для расчета численности техники, графиков её работы и анализа сценариев.

Внутренний центр позволяет быстро вносить изменения, наращивать экспертизу и снижать зависимость от подрядчиков, формируя ядро цифровой системы планирования добычи.





MINETWIN: ОТ ПОДДЕРЖКИ СТРАТЕГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ДО ПРОВЕРКИ КВАРТАЛЬНЫХ И ГОДОВЫХ ПЛАНОВ

ЗАДАЧА

Подземный флюоритовый рудник столкнулся со значительными трудностями из-за непредсказуемой геологии и сложной схемы откатки. Чтобы поддержать рост добычи, компании требовалось получить ответы на два ключевых вопроса:

- Обеспечит ли запланированное увеличение пропускной способности ствола достаточный объём добычи и откатки?
- Сколько дополнительных самосвалов и погрузчиков потребуется для достижения целевых объёмов производства?

После того как MineTwin предоставил надёжные ответы, заказчик продолжил использовать модель для проверки квартальных и годовых планов, раннего выявления узких мест и принятия решений о закупке техники.

РЕШЕНИЕ

Мы разработали симуляционную модель MineTwin, основанную на:

- полной планировке рудника, включая выработки по двум различным методам отработки, забои, камеры для погрузки, рудоспуски и скиповые подъёмники;
- моделировании взаимодействия техники при погрузке, бурении и откатке;
- учёте геологической неопределённости через распределения случайных величин: длительностей бурения, степени дробления и объёмов взорванной руды.

Мы импортировали проектные данные из Vulcan и провели валидацию логики модели.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Моделирование ответило на все поставленные вопросы и позволило:

- Повысить **точность годового планирования на 10%**
- Подтвердить, что увеличение пропускной способности ствола может дать **3% прироста производительности** рудника
- Определить **необходимое количество** погрузчиков и самосвалов для перспективной схемы работы рудника

ЗАКАЗЧИК

Клиент управляет одним из крупнейших подземных флюоритовых рудников в Северной и Южной Америке.

Из-за особенностей проекта название компании не раскрывается, а все представленные данные полностью обезличены, чтобы исключить любую конфиденциальную информацию. Приведённые скриншоты служат иллюстрацией и взяты из похожего, но другого рудника.

Предпосылки

Клиент эксплуатирует крупный подземный флюоритовый рудник, для которого характерны сложные производственные процессы, непредсказуемая геология и совместное использование ключевой техники — погрузчиков и ШАС. На руднике применяется несколько методов добычи, имеются различные точки перегрузки и два скиповых подъёмника, что делает систему откатки высоко взаимозависимой и чувствительной к возникновению узких мест.

Поскольку производственные показатели нелинейно зависят от распределения техники и перемещения фронтов добычи, руднику был необходим более надёжный способ оценки операционных ограничений и планирования увеличения добычи в будущем, чем базовые расчеты.

Цели проекта

Проект был направлен на внедрение **имитационного инструмента поддержки решений**, способного проверять среднесрочные планы (на 1–12 месяцев) и давать ответы на ключевые вопросы, связанные с ростом добычи, включая:

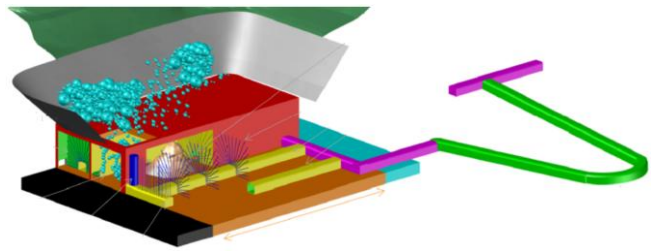
- сможет ли увеличение доступности одного из стволов обеспечить **достаточную пропускную способность** откатки для первого этапа роста производительности;
- **сколько дополнительных самосвалов** потребуется для достижения плановых показателей добычи;
- как изменения в графиках работы персонала повлияют на **общую производительность**;
- может ли строительство дополнительного скипового ствола **сократить парк самосвалов** за счёт уменьшения расстояний откатки.

Долгосрочной целью было создание **центра внутренних компетенций**, который позволил бы компании регулярно использовать модель в стратегическом и среднесрочном планировании

Почему MineTwin?

MineTwin был выбран, потому что обеспечивает **высокоточное моделирование подземных горных работ**, включая взаимодействие техники, маршруты откатки, задержки и изменчивую природу рудника.

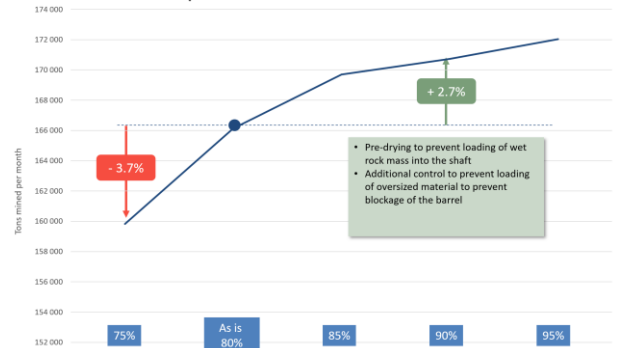
В отличие от Excel и стандартных инструментов планирования, MineTwin предоставляет **более гибкую настройку, высокую точность, широкие возможности интеграции и высокую скорость моделирования**, что позволяет учитывать уникальные условия и ограничения данного рудника.



Оценка эффекта от дополнительной инфраструктуры и техники

С помощью модели в MineTwin была изучено приведёт ли повышение доступности ствола — с 80% до 95% — к увеличению пропускной способности рудника. Модель показала, что при более высокой доступности ствола добыча может вырасти до 2,7%, что подтверждает обоснованность запланированного увеличения его пропускной способности.

Модель также оценила влияние добавления дополнительных самосвалов. Были протестированы сценарии с разным количеством ШАС, и определен оптимальный размер автопарка, необходимый для достижения целевых объёмов добычи без лишних капитальных затрат.



Поддержка планирования и принятия решений на постоянной основе

Получив чёткие, основанные на данных ответы на стратегические вопросы, клиент расширил использование MineTwin и сделал его ключевым инструментом для постоянного планирования.

Теперь имитационная модель позволяет:

- проверять квартальные и годовые производственные планы;
- заранее выявлять узкие места в добыче, откатке и подъёме;
- оптимизировать парк техники как в краткосрочной, так и в долгосрочной перспективе;
- повышать надёжность принятых решений и точность прогнозирования на всех уровнях управления.

Проект был завершён за четыре месяца и привёл к созданию внутреннего центра компетенций, что позволило компании самостоятельно использовать MineTwin для поддержки принятия решений на постоянной основе.



Что такое MineTwin?

MineTwin — это настраиваемый инструмент поддержки принятия решений на основе моделирования, предназначенный как для подземных, так и для открытых горных работ. Он учитывает большинство операционных ограничений и взаимосвязей, характерных для реальной горной добычи.

Как работает MineTwin

MineTwin создает имитационную модель — точную цифровую репрезентацию реальных процессов рудника.

Это единственная на рынке платформа, которая объединяет дискретно-событийное моделирование, линейное программирование и комбинаторную оптимизацию, позволяя создавать реалистичные цифровые двойники шахт.



Для каких задач подходит MineTwin?

- Проверка **выполнимости горных планов** и оценка влияния инициатив по улучшению с помощью имитационного моделирования
- Учет **нелинейных факторов**, таких как очереди, запасы в рудоспусках, задержки при координации
- Сравнение нескольких **возможных будущих состояний** рудника
- Оценка **операционных и финансовых показателей** различных вариантов
- Анализ сценариев для **определения конфигурации и размера парка техники**
- Возможность проверять и корректировать планы с учетом **узких мест** (недостаток забоев, частота взрывов, дисбаланс потоков руды и пустой породы, дефицит закладки)

Подробнее о MineTwin:

<https://mine-twin.ru>

Контакты

ООО «Амальгама»

432017, РФ, г. Ульяновск,
ул. Карла Либкнехта, д. 24/5А, стр. 1, офис 75

info@amalgamasimulation.ru

+7 (800) 700-7014