

Концепция инструмента
планирования и имитационного
моделирования горных работ
MineTwin

Содержание

Содержание	2
Введение.....	4
1.1. Назначение документа	4
1.2. Цель создания инструмента	4
1.3. Границы моделируемого объекта	4
1.4. Предположения и допущения, принимаемые при моделировании	5
2. Моделируемые объекты и сущности	6
2.1. Краткое описание предметной области	6
2.2. Рассматриваемые процессы	7
2.3. Структура и состав моделируемой системы	7
2.4. Рассматриваемые объекты и сущности	8
2.5. Сценарий	9
2.5.1. Сценарий для подземного рудника	10
2.5.2. Сценарий для открытого рудника	10
2.6. Материальный поток.....	10
2.6.1. Тип горной массы.....	10
2.6.2. Материал	10
2.6.3. Запись о содержании материалов	10
2.7. Транспортная сеть шахтного поля/ горного отвода.....	10
2.7.1. Узел транспортной сети	10
2.7.2. Транспортная связь.....	10
2.7.3. Сегмент шахтного поля.....	10
2.7.4. Точка ломаной.....	11
2.7.5. Место работы	11
2.7.6. Выработка (камера)	11
2.7.7. Блок	11
2.7.8. Отвал	11
2.7.9. Участок.....	11
2.8. Оборудование и транспорт	11
2.8.1. Самоходно-буровая установка (СБУ)	11
2.8.2. Тип СБУ	12
2.8.3. Экскаватор.....	12
2.8.4. Тип экскаватора.....	12
2.8.5. Погрузочно-доставочная машина (ПДМ)	12
2.8.6. Тип ПДМ	12
2.8.7. Самосвал	12
2.8.8. Тип самосвалов.....	12
2.8.9. Тип шахтных автосамосвалов (ШАС)	12
2.8.10. Тип карьерных самосвалов	13

2.8.11.	Зарядная машина.....	13
2.8.12.	Тип зарядных машин.....	13
2.8.13.	Анкероустановщик.....	13
2.8.14.	Тип анкероустановщиков.....	13
2.8.15.	Заправочная станция.....	13
2.8.16.	Рудоспуск.....	13
2.8.17.	Смена.....	14
2.8.18.	Период взрывных работ.....	14
2.8.19.	Набор поломок.....	14
2.8.20.	Запись о поломке.....	14
2.8.21.	Набор ремонтов по наработке.....	14
2.8.22.	Запись о ремонте по наработке.....	14
2.8.23.	Набор значений начальной наработки.....	14
2.8.24.	Набор плановых периодов недоступности.....	14
2.8.25.	Запись о плановом периоде недоступности.....	15
2.9.	Данные горных работ.....	15
2.9.1.	Записи плана добычи.....	15
2.9.2.	Типы отработки выработки в подземном руднике.....	15
2.9.3.	Типы проходки.....	16
2.9.4.	Правила проходки выработки.....	16
3.	Механика функционирования.....	17
4.	Алгоритм планирования.....	19
4.1.	Буферы между переделами.....	19
4.2.	Поддержание буферов на всех переделах.....	19
5.	Моделируемые процессы.....	22
5.1.	Работа оборудования/транспорта.....	22
5.2.	Выполнение задач оборудованием.....	22
5.3.	Взрывные работы.....	23
5.4.	Работа рудоспусков.....	23
6.	Анализ чувствительности.....	24
7.	Сравнение сценариев.....	24
8.	Анализ ограничений.....	24
9.	Выходные данные.....	24

Введение

1.1. Назначение документа

Настоящий документ содержит описание инструмента планирования и имитационного моделирования горных работ в открытых и подземных рудниках MineTwin.

В концепции описаны:

- особенности моделируемой предметной области;
- основная функциональность MineTwin;
- ограничения и допущения, принимаемые при работе с MineTwin.

Концепция может использоваться как разработчиками (для целей изменения алгоритма некоторых элементов или добавления новой функциональности), так и конечными пользователями на рудниках.

1.2. Цель создания инструмента

Инструмент MineTwin создан для поддержки принятия решений на основе имитационного моделирования рудников. MineTwin может применяться для решения следующих задач:

- определения потенциальной производительности рудника
- проверки выполнимости планов – от сменных до годовых
- оценки эффекта от операционных улучшений
- обоснования инвестиций.

1.3. Границы моделируемого объекта

В MineTwin планируются и моделируются процессы, происходящие в открытых и подземных рудниках, в которых выполняется добыча полезных ископаемых.

MineTwin воспроизводит основные процессы при проведении горных работ - бурение, зарядание, взрывание, погрузку и транспортировку горной массы, возведение постоянной крепи.

Помимо процессов MineTwin воспроизводит логику планирования горных работ и правила координации единиц техники во время выполнения плана.

1.4. Предположения и допущения, принимаемые при моделировании

№	Предположение или допущение
1	MineTwin не оптимизирует какие-либо показатели работы моделируемых рудников. Планирование улучшений в работе рудников с помощью модели достигается за счет сценарного анализа с участием планировщика-эксперта
2	Не учитываются вспомогательные проходческие процессы (проветривание выработки, настилка рельсовых путей, наращивание вентиляционных, водяных и воздушных магистралей и т.д.)
3	Не моделируется работа персонала. Работа персонала задается только косвенно расписанием смен. Количество задействованного персонала может быть учтено только исходя из нормативных показателей на единицу транспорта/оборудования

2. Моделируемые объекты и сущности

2.1. Краткое описание предметной области

Моделируемая система – открытый или подземный рудник, в котором выполняется добыча полезных ископаемых буровзрывным способом в соответствии с применяемой технологией согласно плану добычи.

На открытых горных рудниках (карьерах) буровзрывные работы ведутся путем поэтапного взрыва уступов открытого рудника. На подготавливаемом к взрыву части уступа – блоке - вначале бурятся скважины (полости) в соответствии с паспортом ведения буровзрывных работ, затем заряжаются и готовятся к взрыву. На время взрыва все работы в руднике прекращаются. После массового взрыва производится погрузка отбитой горной массы в транспортные средства и затем вывозится либо на обогатительную фабрику (полезное ископаемое), либо в отвал (пустая порода).

В подземных горных рудниках вначале производится проходка выработки: производится бурение горной массы горизонтально вперед. В пробуренные полости (шпур) закладывается взрывной материал и производится взрыв с отбойкой горной массы, которая затем вывозится транспортными средствами в рудоспуски. При необходимости после выемки горной массы для укрепления сводов выработки в ней устанавливается анкерная крепь. После этого начинается новый цикл проходки: бурение, зарядание, взрыв, установка крепи. Циклы продолжаются, пока вся выработка не будет пройдена.

После проходки добычной (не транспортной) выработки в ней выполняется процесс очистки (добычи горной массы, располагающейся над пройденной выработкой). В процессе очистки производится бурение вертикально или наклонно веерами (пучками) вверх или вниз. После забуривания заданного количества скважин в выработке производится взрыв, и отбитая горная масса вывозится. Циклы повторяются, пока вся выработка не будет очищена.

Цикл подземных горных работ схематично показан на Рис. 1.

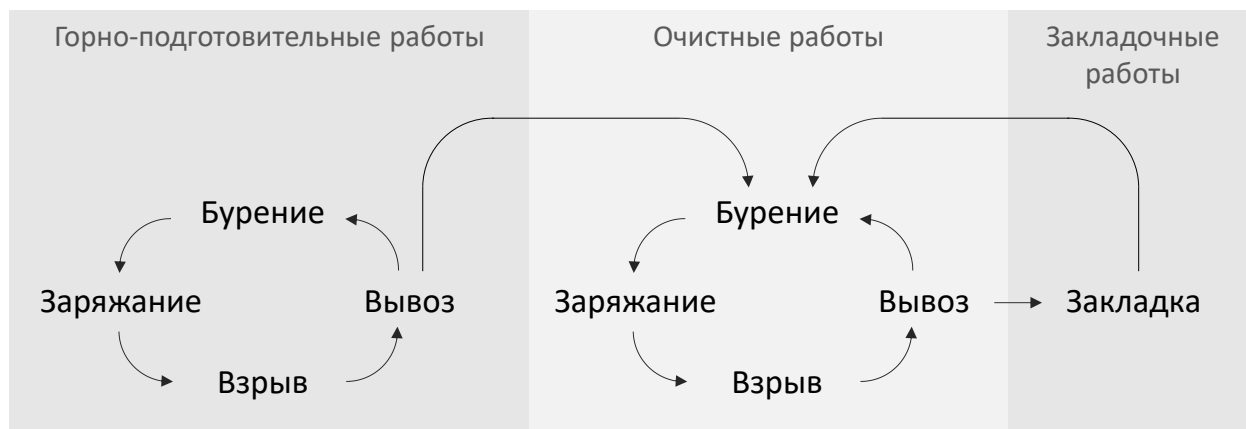


Рис. 1. Цикл подземных горных работ

2.2. Рассматриваемые процессы

В MineTwin воспроизводятся следующие процессы производственного цикла горных работ:

1. Бурение
2. Заряжание
3. Взрывные работы
4. Выемка горной массы и транспортировка ее автотранспортом
5. Транспортировка горной массы железнодорожным транспортом
6. Установка анкерной крепи (в подземных рудниках).

2.3. Структура и состав моделируемой системы

Схематично структура моделируемой системы показана на примере подземного рудника на Рис. 2.

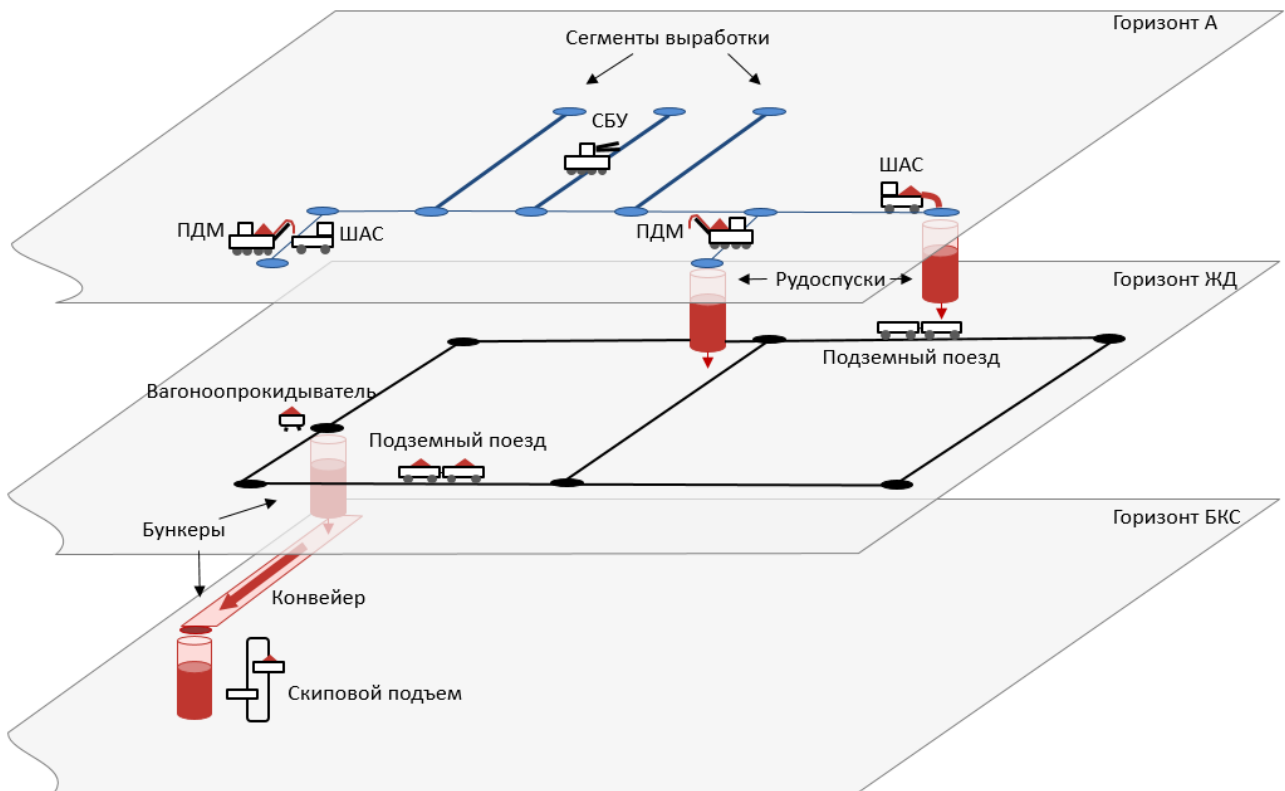


Рис. 2. Структура моделируемого объекта на примере подземного рудника

2.4. Рассматриваемые объекты и сущности

В моделируемую предметную область входят следующие основные объекты и сущности:

- Материальный поток:
 - Типы горной массы
 - Материалы
 - Записи о содержании материалов в горной массе
- Оборудование и транспорт:
 - Типы самоходно-буровых установок
 - Самоходно-буровые установки (СБУ)
 - Типы зарядных машин
 - Зарядные машины
 - Типы погрузочно-доставочных машин
 - Грузочно-доставочные машины (ПДМ)
 - Типы экскаваторов
 - Экскаваторы
 - Типы самосвалов
 - Самосвалы

- Типы шахтных автосамосвалов (ШАС)
- Типы карьерных самосвалов
- Типы анкероустановщиков
- Анкероустановщики
- Заправочные станции
- Рудоспуски
- Смены
- Периоды взрывных работ
- Наборы поломок оборудования/ транспорта
- Записи о поломке
- Наборы ремонтов по наработке оборудования/ транспорта
- Записи о ремонте по наработке
- Наборы значений начальной наработки оборудования/транспорта
- Наборы плановых периодов недоступности оборудования/ транспорта
- Записи о плановом периоде недоступности
- Данные горных работ:
 - Записи плана добычи
 - Типы отработки выработки в подземном руднике (проходки и/или очистки)
 - Типы проходки выработки
 - Правила проходки выработки
- Транспортная сеть шахтного поля (в подземном руднике)/ горного отвода (в открытом руднике):
 - Узлы шахтного поля
 - Транспортные связи шахтного поля/ горного отвода
 - Сегменты шахтного поля/ горного отвода
 - Точки ломаной
 - Места работы
 - Выработки (камеры)
 - Блоки
 - Отвалы
 - Участки.

2.5. Сценарий

Сценарий является корневым объектом рассматриваемой предметной области. Сценарий содержит списки ссылок на большинство объектов и сущностей предметной области. Также сценарий содержит глобальные параметры, относящиеся не к какой-либо сущности, а к планированию и моделированию в целом.

2.5.1. Сценарий для подземного рудника

Сценарий для подземного рудника дополнительно содержит списки ссылок на объекты и сущности, присущие только подземным рудникам.

2.5.2. Сценарий для открытого рудника

Сценарий для открытого рудника дополнительно содержит списки ссылок на объекты и сущности, присущие только открытым рудникам.

2.6. Материальный поток

2.6.1. Тип горной массы

Все полезные ископаемые и пустая порода, отбиваемые в процессе горных работ, в MineTwin условно называются горной массой. MineTwin позволяет задавать любое количество типов горной массы с различными физико-механическими свойствами, такими как плотность, разрыхление, крепость для разрушения, содержание полезного вещества.

2.6.2. Материал

Материал - тип полезного вещества, содержащегося в горной массе.

2.6.3. Запись о содержании материалов

Запись о содержании материала (полезного вещества) в горной массе.

2.7. Транспортная сеть шахтного поля/ горного отвода

2.7.1. Узел транспортной сети

Узел транспортной сети – элемент графа транспортной сети шахтного поля/ горного отвода, которому соответствует одна точка в двумерном пространстве.

2.7.2. Транспортная связь

Транспортная связь – элемент графа транспортной сети, соединяющий два узла шахтного поля/ горного отвода.

2.7.3. Сегмент шахтного поля

Сегмент шахтного поля/ горного отвода – упорядоченный набор транспортных связей, используемый для задания расположения выработки. Сегменту шахтного поля/ горного отвода соответствует направленная ломаная линия в трехмерном пространстве.

2.7.4. Точка ломаной

Точка ломаной – точка, задающая места перегиба ломаной сегмента шахтного поля/ горного отвода.

2.7.5. Место работы

Место работы – логическая сущность, обозначающая место выполнения операций оборудованием/ транспортом и физически соответствующая выработке.

2.7.6. Выработка (камера)

Выработка – место выполнения операций оборудованием/ транспортом. На плане шахтного поля выработке соответствует сегмент шахтного поля.

2.7.7. Блок

Блок - планируемая к разработке часть уступа. Уступ - часть борта открытого рудника в виде ступени.

2.7.8. Отвал

Отвал - место размещения на поверхности пустых (вскрышных) пород или некондиционного минерального сырья.

2.7.9. Участок

Участок служит для логического объединения нескольких смежных выработок/ блоков. За участками закрепляется определенное оборудование/ транспорт. В разрезе участков могут задаваться технологические ограничения, такие как ограничение на проведение взрывных работ, ограничение по вентиляции.

2.8. Оборудование и транспорт

2.8.1. Самоходно-буровая установка (СБУ)

Самоходно-буровая установка (СБУ) – оборудование, предназначенное для бурения скважин (шпуров), способное самостоятельно передвигаться по транспортным связям рудника.

В MineTwin все СБУ подразделяются на 2 группы исходя из выполняемых функций:

- СБУ горизонтального типа бурения предназначена для бурения горизонтальных шпуров и снабжена двумя буровыми инструментами;
- СБУ вертикального типа бурения предназначена для бурения вертикальных и наклонных скважин и снабжена одним буровым инструментом, длина которого может изменяться в процессе работы.

2.8.2. Тип СБУ

Тип СБУ – сущность, определяющая параметры всех единиц СБУ, относящихся к одному типу, например, мощность ударника, максимальная глубина бурения и т.п.

2.8.3. Экскаватор

Экскаватор – машина, предназначенная для экскавации (выемки) горной массы в открытом руднике из навала и погрузки в самосвалы или укладки в отвал.

2.8.4. Тип экскаватора

Тип экскаватора – сущность, определяющая параметры всех экскаваторов, относящихся к одному типу, например, скорость движения с грузом/ без груза, объем ковша и т.п.

2.8.5. Погрузочно-доставочная машина (ПДМ)

Погрузочно-доставочная машина (ПДМ) – машина, предназначенная для погрузки и транспортирования отбитой горной массы в подземном горном руднике из выработок в рудоспуски или в места перегруза, где горная масса из ПДМ разгружается в ШАС.

2.8.6. Тип ПДМ

Тип ПДМ – сущность, определяющая параметры всех единиц ПДМ, относящихся к одному типу, например, скорость движения с грузом/ без груза, объем ковша и т.п.

2.8.7. Самосвал

Самосвал – машина, предназначенная для погрузки и транспортирования отбитой горной массы.

В MineTwin самосвалы транспортируют горную массу:

- из выработок на обогатительную фабрику или в отвал (в открытых рудниках)
- из мест перегруза, где горная масса из ПДМ разгружается в ШАС, в рудоспуски (в подземных рудниках).

2.8.8. Тип самосвалов

Тип самосвалов – сущность, определяющая параметры всех самосвалов, относящихся к одному типу.

2.8.9. Тип шахтных автосамосвалов (ШАС)

Тип ШАС – сущность, определяющая параметры всех ШАС, относящихся к одному типу, например, скорость движения с грузом/ без груза, объем кузова и т.п.

2.8.10. Тип карьерных самосвалов

Тип карьерных самосвалов – сущность, определяющая параметры всех карьерных самосвалов, относящихся к одному типу, например, скорость движения с грузом/ без груза, объем кузова и т.п.

2.8.11. Зарядная машина

Зарядная машина (ЗМ) – устройство для механизированной подачи взрывного материала (ВМ) в зарядные полости (скважины, шпуры).

2.8.12. Тип зарядных машин

Тип зарядных машин – сущность, определяющая параметры всех зарядных машин, относящихся к одному типу, например, скорость движения, продолжительность заряжания одного шпура/ скважины и т.п.

2.8.13. Анкероустановщик

В некоторых случаях во избежание обрушения породы после бурения и выемки отбитой горной массы в выработке необходимо произвести укрепление сводов выработок с помощью анкерной крепи. Анкерная крепь представляет собой стержни (анкеры), закрепляемые различными способами в шпурах, пробуренных в определенном порядке в породах кровли и боков выработки. Таким образом, установка анкерной крепи предполагает бурение цикла шпуров под анкера и помещение в них крепежного материала. Дополнительно может устанавливаться металлическая решетка.

Анкероустановщик – оборудование, предназначенное для установки анкерной крепи при проведении горных работ для укрепления сводов подземных горных выработок.

2.8.14. Тип анкероустановщиков

Тип анкероустановщиков – сущность, определяющая параметры всех анкероустановщиков, относящихся к одному типу, например, скорость движения, продолжительность установки одного анкера и т.п.

2.8.15. Заправочная станция

Заправочная станция – стационарное оборудование, предназначенное для заправки топливом транспорта и оборудования.

2.8.16. Рудоспуск

Рудоспуск – часть транспортной системы рудника, участвующая в перемещении горной массы из рабочей зоны рудника на транспортный горизонт.

2.8.17. Смена

Смены определяют активные периоды, во время которых возможна работа оборудования/ транспорта.

2.8.18. Период взрывных работ

Периоды взрывных работ определяют периоды времени, во время которых производится отбойка горной массы, т.е. моделируется автоматическое образование отбитой горной массы во всех выработках, готовых к взрыванию к моменту начала периода взрывных работ.

На периоды проведения взрывных работ работа всего оборудования/ транспорта в руднике прекращается.

2.8.19. Набор поломок

Набор поломок - сущность, содержащая список записей о поломках – внеплановых (аварийных) остановках оборудования/ транспорта.

2.8.20. Запись о поломке

Запись о поломке содержит информацию о продолжительности времени между поломками и продолжительности времени устранения поломки.

2.8.21. Набор ремонтов по наработке

Набор ремонтов по наработке - сущность, содержащая список записей о ремонтах по достижении заданного количества часов наработки двигателя/ ударного механизма оборудования/ транспорта.

2.8.22. Запись о ремонте по наработке

Запись о ремонте по наработке содержит информацию о количестве часов, отработанных оборудованием/ транспортом с начала эксплуатации или капитального ремонта, по достижении которых начинается ремонт по наработке, и информацию о продолжительности ремонта.

2.8.23. Набор значений начальной наработки

Набор значений начальной наработки - сущность, содержащая коллекцию значений начальной наработки оборудования/ транспорта в разрезе единиц измерения наработки (машино-часы, ударо-часы).

2.8.24. Набор плановых периодов недоступности

Набор плановых периодов недоступности - сущность, содержащая список записей о плановых остановках оборудования/ транспорта.

2.8.25. Запись о плановом периоде недоступности

Запись о плановом периоде недоступности содержит информацию о продолжительности планового периода недоступности и ссылку на временной ряд (последовательность моментов времени на оси времени) для спецификации момента начала планового периода недоступности.

2.9. Данные горных работ

2.9.1. Записи плана добычи

Запись плана добычи – сущность, содержащая информацию о начале и окончании планового периода добычи, количестве горной массы, которое планируется добыть за период, и ссылку на место работы (выработку).

2.9.2. Типы отработки выработки в подземном руднике

Тип отработки выработки в подземном руднике – сущность, содержащая информацию о последовательности и технологии выполнения горных работ в выработке.

При прохождении горных выработок буровзрывным способом сначала производятся горнопроходческие работы (проходка): горная масса в выработке пробуривается горизонтально вперед, обеспечивая въезд в выработку. После завершения проходки производится очистка камеры, для чего горная масса пробуривается вертикально (вверх или вниз) (Рис. 3).

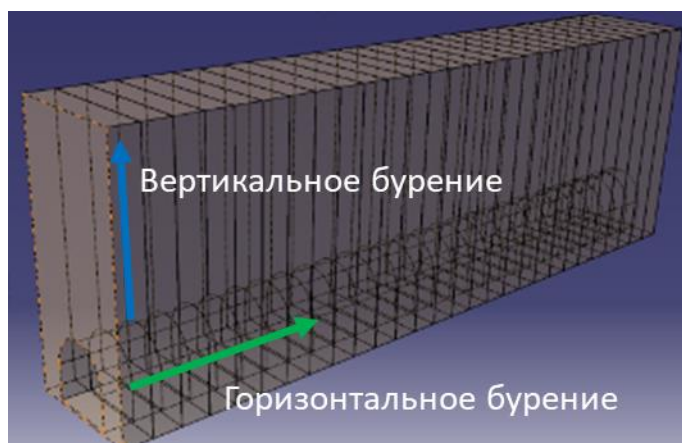

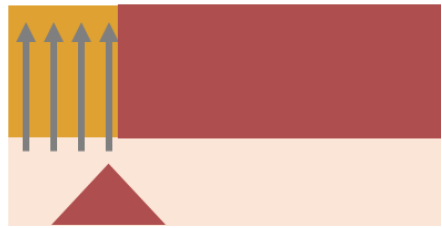


Рис. 3. Типы бурения

В MineTwin моделируется 2 типа отработки (Табл. 1):

Табл. 1. Типы отработки

№	Описание типа отработки	Схематическое изображение
1	Проходка – горизонтальная проходка выработки вперед с последующей выемкой горной массы	
2	Очистка – вертикальное бурение вверх в выработке, в которой завершена проходка, с последующей выемкой горной массы	

2.9.3. Типы проходки

Тип проходки – сущность, содержащая параметры состояния выработки, такие как ширина и высота выработки, длина пройденной части выработки, длина части выработки, в которой уже установлена анкерная крепь, количество пробуренных шпуров, количество заряженных шпуров и т.п.

2.9.4. Правила проходки выработки

Правило проходки выработки – сущность, содержащая параметры проходки выработки, такие как глубина бурения выработки, количество шпуров на один квадратный метр обуриваемой площади, количество анкеров на один квадратный метр обуриваемой площади и т.п.

3. Механика функционирования

MineTwin состоит из следующих модулей:

1. Модуль ввода данных (редактор)
2. Модуль планирования (планировщик)
3. Модуль имитации (имитационная модель)

Модуль ввода данных позволяет создавать и редактировать сценарии непосредственно в пользовательском интерфейсе MineTwin или в файлах формата MS Excel.

Логика MineTwin разделена на два блока – планировщик и модуль имитации. Работа MineTwin состоит из двух последовательных этапов:

1. Планирование работы оборудования, выполняется планировщиком
2. Имитация работы оборудования и транспорта, выполняется модулем имитации на основании плана, составленного планировщиком

Планировщик предназначен для составления расписаний работы оборудования и транспорта, производящих операции в местах работы, для выполнения плана добычи. Планировщик учитывает:

- Технологическую последовательность операций
- Длительность выполнения операций,
- Скорость движения оборудования/ транспорта,
- Сменность работы оборудования/ транспорта,
- Плановые периоды недоступности оборудования/ транспорта.

Имитационная модель детально воспроизводит работу оборудования/ транспорта. На вход модулю имитации подается план, составленный планировщиком. На своевременность выполнения плана влияют следующие факторы, рассматриваемые в модуле имитации и не учитываемые планировщиком:

- Ожидание в очередях перед рудоспусками
- Необходимость заправки топливом
- Изменение скорости движения оборудования/ транспорта в зависимости от типов и уклонов дорог, разъездов техники
- Ремонты по наработке машино- и ударо-часов оборудования/ транспорта
- Поломки (аварийные остановки) оборудования/ транспорта.

Если план невыполним, пользователь может внести корректировку входных данных и повторить моделирование.

Использование комбинации планировщика и имитационной модели для формирования итогового обоснованного плана схематично показано на Рис. 4.

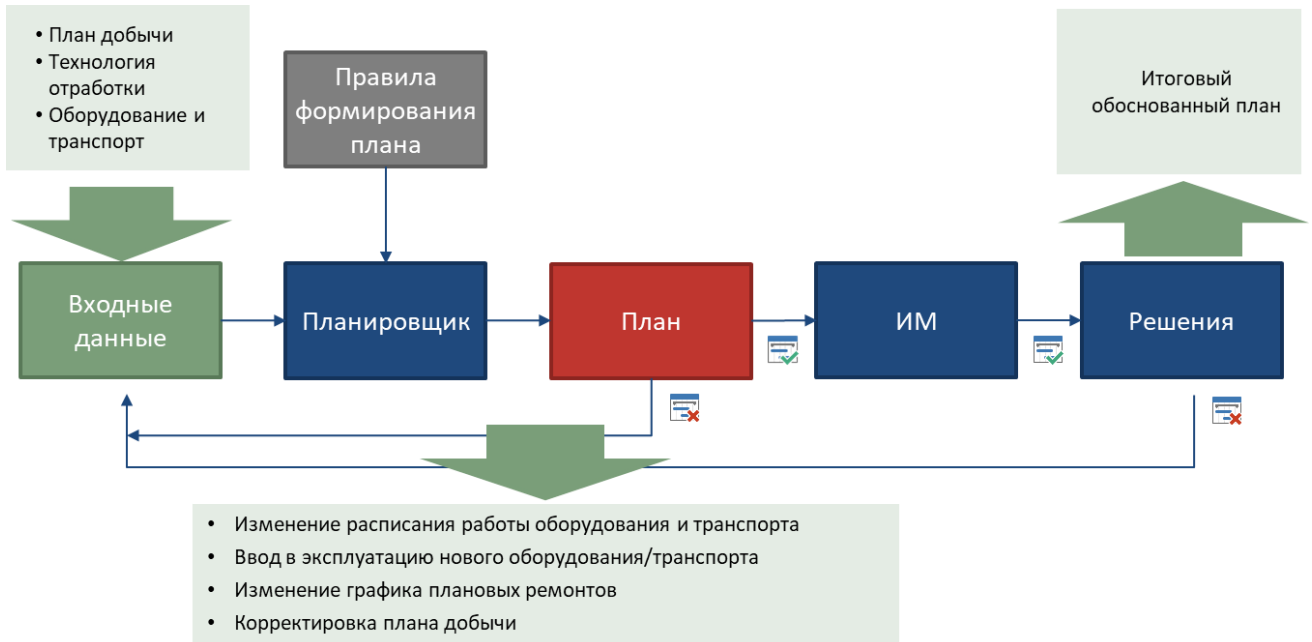


Рис. 4. Схема использования комбинации планировщика и имитационной модели

4. Алгоритм планирования

4.1. Буферы между переделами

При выполнении горных работ естественным образом складываются буферы обработанной породы перед каждым переделом. Например, очищенную выработку можно представить как буфер объема работ для бурения. Аналогично, отбитая руда – буфер для вывоза.

При наличии буфера на некоторое время вперед (например, на несколько смен) планирование работ на соответствующем переделе значительно упрощается за счет гибкости при распределении ресурсов. Гибкость возникает потому, что фронт работ на каждую смену превышает мощность ресурсов данного передела.

Результатом работы каждого передела является наполнение/поддержание буфера работы перед следующим переделом. Таким образом, целесообразно при планировании ориентироваться на поддержание буфера работ между каждой парой переделов. Это соображение положено в основу используемого в инструменте MineTwin алгоритма планирования.

4.2. Поддержание буферов на всех переделах

Планирование – составление плана горных работ на заданный горизонт вперед. План горных работ состоит из отдельных заданий, в каждом из которых указана смена, единица оборудования, забой, вид, объем и длительность выполняемых работ. Таким образом, результатом планирования является составление списка плановых заданий для единиц оборудования на заданный горизонт. План должен обеспечивать выполнение целей работы рудника – добычу заданного объема руды установленного качества.

План должен быть выполнимым, то есть учитывать время, необходимое на плановые ремонты и обслуживание оборудования, переезды между местами выполнения работ, задержки при выполнении вспомогательных работ и другие ограничения, описанные выше.

В начале работы алгоритма определяются целевые темпы бурения и вывоза руды и полезного вещества (ПВ) по массе. При планировании обеспечивается минимальное отклонение плановых объемов от целевых (Рис. 5).

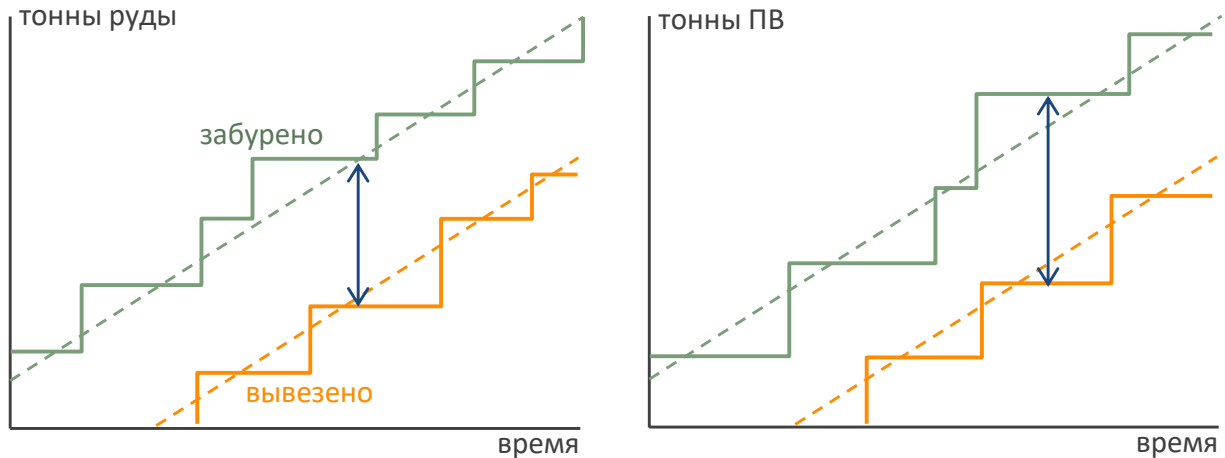


Рис. 5. Минимальное отклонение плановых объемов от целевых

Планирование выполняется итеративно. Каждая итерация состоит из трех этапов:

1. Генерация альтернатив
2. Выбор альтернативы
3. Добавление альтернативы в план.

Альтернатива – это одно или несколько плановых заданий для оборудования рудника, реализация которых возможна на конкретной итерации планирования. При генерации альтернатив учитываются все необходимые ограничения, например, время подъезда к выработке, ограничения по вентиляции, по количеству одновременно работающих единиц оборудования/ транспорта и т.п. Таким образом, именно на этапе генерации альтернатив обеспечивается удовлетворение всем необходимым требованиям. Каждой альтернативе сопоставляется числовое значение, соответствующее изменению отклонения планового графика объемов руды по переделу от целевого. Если альтернатива приводит к сокращению данного отклонения, ей присваивается отрицательная оценка, иначе – положительная. На каждой итерации выбирается альтернатива с наименьшей оценкой. Выбранная альтернатива добавляется к плану и выполняются все необходимые пересчеты (Рис. 6).

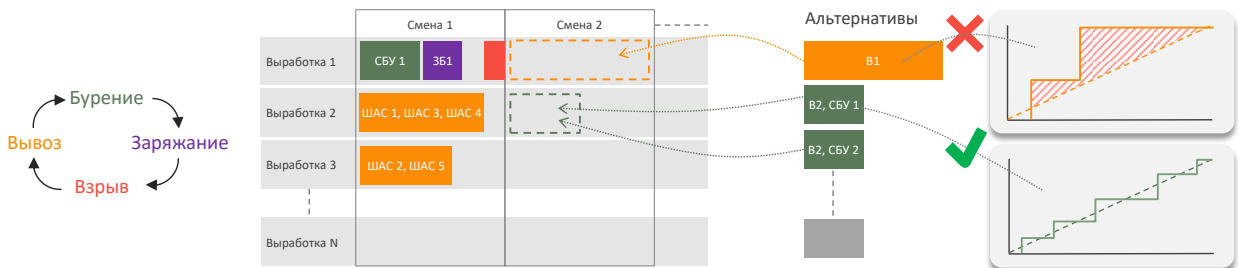


Рис. 6. Алгоритм итерационного планирования

Алгоритм итерационного планирования является «жадным», использующим локальные критерии на каждой итерации. Это может привести к тому, что на некотором шаге планирования не удастся сформировать ни одной альтернативы, удовлетворяющей ограничениям. Например, это может произойти из-за недостаточного качества руды во всех доступных для вывоза выработках. В таком случае алгоритм выполняет возврат на несколько шагов назад и исключает выбор альтернатив, приведших к тупиковой (Рис. 7).

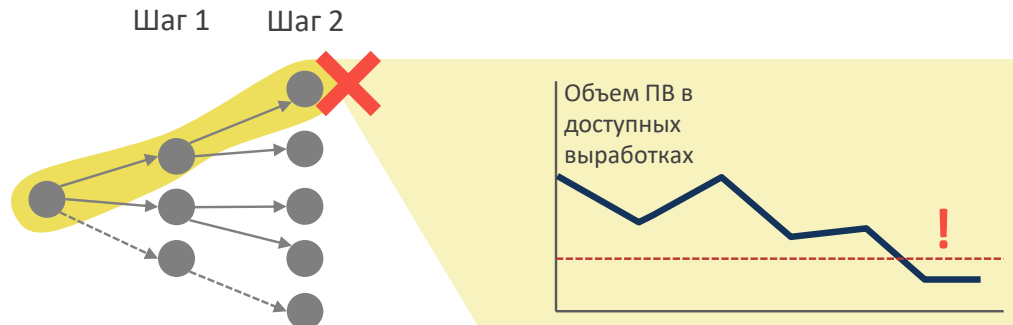


Рис. 7. Выбор альтернативы

5. Моделируемые процессы

5.1. Работа оборудования/транспорта

Оборудование/ транспорт работает в соответствии с графиком, заданным сменами, которые определяют активные периоды оборудования – периоды, когда оборудование может выполнять задачи.

Если окончание активного периода пришлось на период выполнения задачи, выполнение задачи приостанавливается и возобновляется при начале следующего активного периода.

Если во время выполнения задачи наступает плановый период недоступности или поломка, выполнение задачи приостанавливается и возобновляется после окончания планового периода недоступности/ устранения поломки.

Если во время выполнения задачи наступает необходимость в ремонте по наработке, выполнение задачи не приостанавливается, ремонт по наработке выполняется после завершения задачи.

5.2. Выполнение задач оборудованием

Оборудование/ транспорт выполняет в рудниках следующие задачи:

- бурение (выполняется СБУ)
- зарядание (выполняется зарядными машинами)
- транспортировку горной массы с помощью ПДМ и самосвалов
- установку анкерной крепи (выполняются анкероустановщиками)
- транспортировку горной массы по ж/д.

Процесс выполнения задачи состоит из следующих шагов:

1. Имитационная модель обращается к плану и формирует последовательность задач для каждой единицы оборудования/ транспорта согласно плану
2. Выполнение задачи начинает выполняться при соблюдении двух условий:
 - Единица оборудования/ транспорта, которая должна выполнять задачу, доступна для работы: не находится в перерыве между сменами или ремонте и не выполняет другую задачу
 - Завершены все процессы, предшествующие процессу выполнения данной задачи согласно технологическому процессу
3. Если единица оборудования/ транспорта недоступна, задача ожидает ее освобождения для начала выполнения задачи
4. Продолжительность выполнения задачи определяется характеристиками оборудования/ транспорта, характеристиками выработки и состоянием всего

рудника в момент моделирования (ограничения проезда, заполненность рудоспусков и т.п.)

5.3. Взрывные работы

Взрывные работы (процесс взрывания) не моделируются, а задаются периодом временем, необходимым для выполнения взрыва, в течение которого происходит остановка работы транспорта/ оборудования.

При каждом цикле взрывных работ моделируется автоматическое образование отбитой горной массы во всех выработках, готовых к взрыванию в момент начала периода взрывных работ.

5.4. Работа рудоспусков

Рудоспуски в подземных рудниках принимают горную массу из ПДМ и самосвалов и сыпают ее в подземные поезда для дальнейшей транспортировки на горизонтах, расположенных ниже рабочей зоны.

Приемка горной массы из ПДМ и ШАС осуществляется по правилам:

- В рудоспуск принимается только горная масса типов, доступных для рудоспуска
- Скорость приемки горной массы равна скорости разгрузки ПДМ и самосвалов.

Выгрузка горной массы из рудоспусков осуществляется непрерывно, пока в рудоспуске имеется горная масса.

6. Анализ чувствительности

Режим анализа чувствительности позволяет запустить одновременное моделирование одного и того же сценария с различным количеством оборудования

7. Сравнение сценариев

Режим сравнения сценариев позволяет одновременно выполнить моделирование нескольких сценариев и затем сравнить результаты.

8. Анализ ограничений

Режим анализа ограничений предназначен для определения узких мест сценария. При выполнении анализа ограничений MineTwin OpenPit автоматически несколько раз запускает моделирование сценария, по очереди снимая каждое из основных ограничений, и показывает, насколько улучшился бы процент выполнения плана добычи, если бы этого ограничения не было.

9. Выходные данные

Все режимы MineTwin содержат динамическую визуализацию, позволяющую визуально оценить результаты моделирования, сравнения сценариев, анализа чувствительности и анализа ограничений.

Все данные из таблиц данных можно скопировать или экспортировать в файлы формата Excel для последующего анализа.