

УДК 004.94

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИБКОЙ АРХИТЕКТУРЫ ИНСТРУМЕНТА ИМ MINETWIN ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ФЛЮОРИТОВОГО РУДНИКА

Малыханов А.А., Черненко М.Е. (Ульяновск)

Введение

За последнее десятилетие в горнодобывающей отрасли произошел значительный скачок в развитии технологий, от автоматизации мобильного оборудования, удаленных центров управления операциями до интеллектуальных камер, улучшающих наблюдение и безопасность [1].

Последние достижения в различных областях искусственного интеллекта (ИИ), похоже, будут одним из аспектов, на которые стоит обратить внимание. Тем не менее есть инструмент, который уже сейчас может принести существенную пользу – это имитационное моделирование (ИМ) [2, 4, 7]. ИМ уже используется не только в качестве инструмента поддержки принятия решений на различных рудниках по всему миру, но и, вероятно, станет необходимым дополнением к ИИ [3]. Когда алгоритмы и политики ИИ со временем станут достаточно зрелыми, имитационное моделирование обеспечит безопасную и безрисковую среду для тестирования алгоритмов ИИ, прежде чем они начнут работать в реальном мире.

Актуальность создания специализированного инструмента моделирования горных работ

Основная ценность ИМ в горнорудной сфере заключается в способности рассматривать сложные аспекты взаимодействия многих типов оборудования: погрузочно-доставочных машин (ПДМ) и шахтных автосамосвалов (ШАС), комбайнов, конвейеров, самоходных вагонов и т.д. Создание таких ИМ очень трудоемко и может занимать от 4 до 12 месяцев и более.

Однако большинство аспектов организации горных работ в различных рудниках одинаково. Так, на разных рудниках используется одинаковое оборудование, структура процессов функционирования оборудования тоже общая. Как правило, отличаются только параметры, например, из-за различных горно-геологических условий, требований безопасности и т.д. Также сходны базовые правила обслуживания и ремонта оборудования.

Опыт выполнения более десятка проектов в сфере ИМ горных работ позволил нам выделить общие элементы ИМ горных работ:

- графический пользовательский интерфейс с двухмерной и трехмерной картой шахтного поля;
- логика работы основных типов горного оборудования: самоходного бурового оборудования, ПДМ, самосвалов, экскаваторов, поездов, конвейеров, мест хранения горной массы и т.д.;
- типовые отчеты в виде таблиц и графиков;
- модель потока руды, учитывающая смешивание фрагментов горной массы с различным содержанием полезного вещества (ПВ).

Вместе с тем, горные работы на разных рудниках имеют и существенные отличия. Они, главным образом, касаются правил управления оборудованием и интеграции с окружающими ИТ-системами. К основным точкам расширения ИМ мы отнесли следующие:

- алгоритмы ежесменного планирования работы оборудования;

– алгоритмы диспетчеризации подвижного оборудования при выполнении работ в течение смены;

– импорт данных (в особенности геологических) из ИТ-систем заказчика.

Таким образом, было принято решение объединить общие для разных рудников элементы и создать базовый инструмент имитационного моделирования и планирования горных работ MineTwin [5]. Для каждого конкретного заказчика имитационная модель создается на основе MineTwin с помощью доработки необходимых логических блоков. С точки зрения технической реализации такие модели представляют собой проекты-наследники. Наследник MineTwin для конкретного рудника уже содержит базовую функциональность, а реализация специфических особенностей работы рудника в наследнике занимает в разы меньше времени, чем создание новой модели на обычной платформе для ИМ общего назначения [6].

Архитектура MineTwin на примере решения для одного из заказчиков

Рассмотрим архитектуру модели на платформе MineTwin на примере конкретного проекта. В 2023 году от одного из заказчиков поступил запрос на создание ИМ флюоритового рудника. В частности, заказчика интересовали следующие вопросы:

– сколько потребуется дополнительных погрузочно-доставочных машин при увеличении производства?

– насколько строительство скипового подъема позволит сократить парк оборудования?

– как повлияет на производительность рудника применение различных графиков работы оборудования?

В результате анализа работы рудника были описаны и формализованы правила ежесменного планирования и диспетчеризации техники. Ключевые параметры этих правил были вынесены в отдельное окно пользовательского интерфейса, показанное на Рис. 1. Эти правила были реализованы на языке Java и вынесены в приложение-наследник MineTwin.

Mine area	Ore type	Stope type	Priority	Min loaders per active stope	Max loaders per active stope	Min trucks per CDP	Max trucks per CDP
G	High Grade	Chorro	2	1	2	3	7
G	Low Grade	Chorro	1	1	2	3	7
G	High Grade	Non-Chorro	3	1	2	3	7
E	High Grade	Non-Chorro	1	1	2	3	7
G-Dev	High Grade	Non-Chorro	1	1	2	3	7
F	High Grade	Non-Chorro	1	1	2	3	7
Gremi-200	Waste	Non-Chorro	1	1	2	3	7
Gremi-350	Waste	Non-Chorro	1	1	2	3	7
MGA-H	Waste	Non-Chorro	1	1	2	3	7
MGA	Waste	Non-Chorro	1	1	2	3	7
G-MGA	Waste	Non-Chorro	1	1	2	3	7

Рис. 1. Параметры диспетчеризации ПДМ и ШАС

В ИМ для заказчика была реализована следующая специфичная функциональность:

– импорт текущего состояния горных выработок из внутренней ИТ-системы заказчика Vulcan, что позволило получать актуальное состояние рудника для параметризации ИМ за 2–3 минуты;

– диспетчеризация ПДМ и ШАС по разным правилам для разных типов горной массы и разных добычных участков: вывоз из выработок 4 типов, перегруз в точках перегруза 2 типов, доставка до скиповых подъемников и на поверхность (рис. 2);

– специальный тип выработок «Chorro», в которых после одного взрыва горная масса обрушается постепенно, обеспечивая большой поток горной массы для транспортировки, не зависящий от размеров самой выработки;

– тип отработки «Проходка с закладкой», при котором выработка после вывоза из нее руды закладывается пустой породой, вынимаемой из других выработок.



Рис. 2. Схема грузопотоков

При этом в описываемую модель не была перенесена функциональность MineTwin, которая на описываемом руднике не применяется, например моделирование работы комбайнов, конвейеров, самоходных тележек и подземных поездов.

Внешний вид пользовательского интерфейса ИМ модели флюоритового рудника показан на рис. 3.

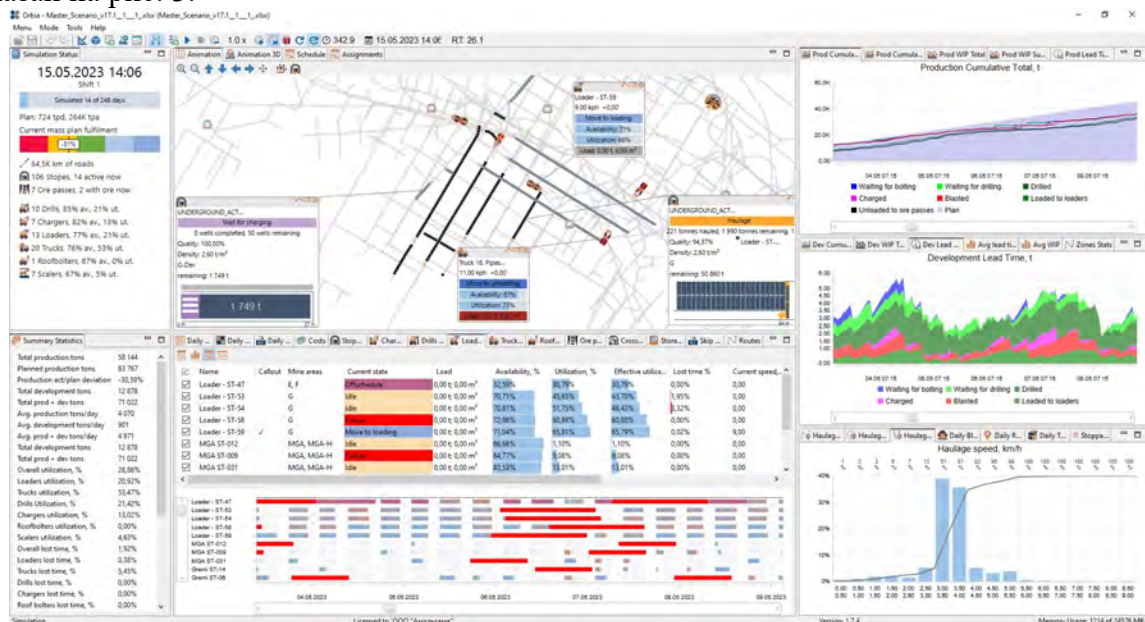


Рис. 3. Внешний вид интерфейса режима моделирования ИМ флюоритового рудника

Одним из примеров результатов сценарного анализа с помощью имитационной модели является расчет влияния количества ШАС на недельный объем добычи. Результаты анализа приведены на рис. 4. Каждый эксперимент повторялся 20 раз с различными реализациями случайных величин. На графике видно, как возрастет объем

добычи руды при покупке дополнительных ШАС. В частности видно, что добавление одного ШАС приводит к достоверному увеличению общего объема добычи без существенного увеличения разброса результатов. В то же время, добавление четвертого и пятого ШАСов приводит к увеличению разброса результатов, а значит и к потенциально менее предсказуемым объемам ежемесячной добычи.

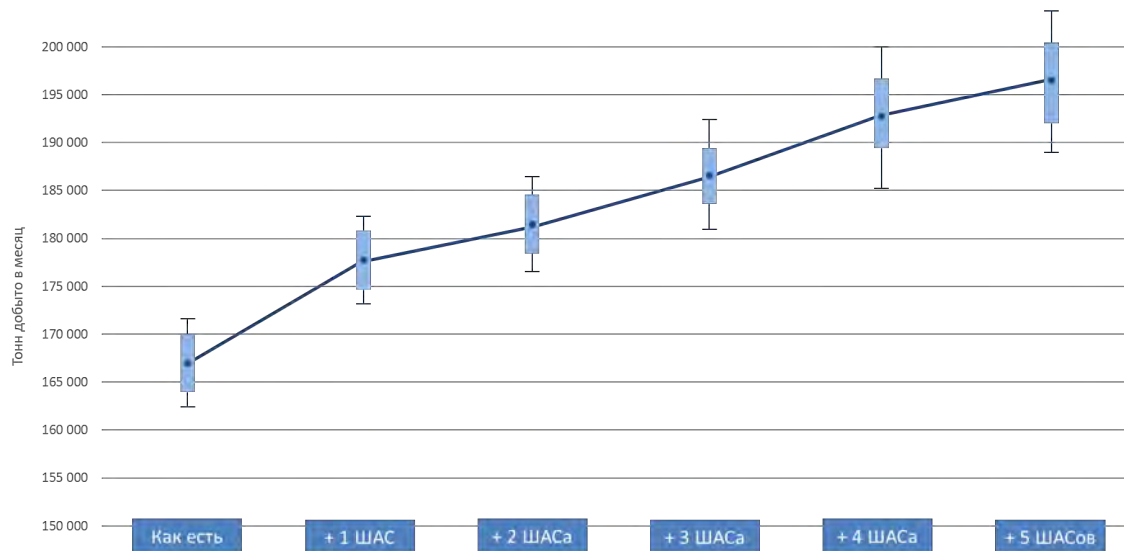


Рис. 4. Влияние количества дополнительных ШАС на месячный объем добычи

В рамках выполнения проекта в компании было принято решение организовать процесс актуализации информации в системе Vulcan дважды в неделю. Такая комбинация процесса актуализации данных и удобного механизма интеграции позволила эффективно использовать ИМ на еженедельной основе.

Заключение

Имитационное моделирование позволяет учесть циклические зависимости и сложные ограничения при принятии решений в условиях горных предприятий. Однако, построение ИМ может занять много времени. Инструмент MineTwin позволяет сократить срок типового проекта с 4–12 до 2–3 месяцев за счет имеющейся в инструменте базовой функциональности, общей для большинства рудников. Дополнительным преимуществом является переиспользуемость моделей за счет пользовательского интерфейса, ориентированного на специалистов-горняков, а не на специалистов по ИМ.

Литература

1. <https://www.supplychaindataanalytics.com/open-pit-mine-simulation-for-better-planning>
2. Sai Srinivas Nageshwaraniyer, Chao Meng, Young-Jun Son, Sean Dessureault. Simulation-based utility assessment of real-time information for sustainable mining operations // Proceedings of the 2011 Winter Simulation Conference, P. 871–882.
3. Brock Reynolds, Laurens Koelewijn. Short-term forecasting in open pit mining using simulation modelling // Proceedings of the 2018 Winter Simulation Conference, P. 4092–4093.
4. Birkan Can, Cathal Heavey. A demonstration of machine learning for explicit functions for cycle time prediction using mes data // Proceedings of the 2016 Winter Simulation Conference, P. 2500–2511.
5. <https://mine-twin.ru/>

6. Малыханов А.А. Черненко В.Е. Тестирование имитационных моделей // Имитационное моделирование. Теория и практика: труды десятой всероссийской научно-практической конференции по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности (ИММОД-2021). С. 30–39.

7. Козлова О.Ю. Опыт применения и перспективы развития имитационного моделирования в горном деле // Уголь. 2022. №5. С. 42–45.