# Программы для оптимизации карьера: сравнительный анализ

Шолох С.Н., доцент кафедры информатики, автоматики и систем управления Криворожского национального университета, к.т.н.

Многие современные карьеры являются большими сложными системами, достигают значительных глубин и требуют ответственного и взвешенного управления процессами, на них происходящими. При этом резко повышаются требования к точности планирования и проектирования, поскольку даже небольшая относительная ошибка может повлечь за собой крупные дополнительные затраты.

Для выбора оптимального варианта развития горных работ необходимо, чтобы было принято наилучшее из всех возможных распределений во времени объемов пород и руды и, кроме того, нужен объективный критерий оценки рассматриваемых вариантов. Наиболее общим критерием оценки эффективности принятого варианта развития горных работ является приведенный во времени общий денежный поток, связанный с разработкой месторождения. Этот критерий учитывает все виды затрат за оцениваемый период, фактор времени, разницу в качестве добываемых из карьера руд, интенсивность отработки месторождения, оптовые цены на продукцию разработки месторождения. Расчеты по этому критерию очень громоздки и во многих случаях не могут обеспечить необходимой надежности результатов, что объясняется трудностью установления надежных исходных стоимостных показателей и несовершенством методов определения системы оптовых цен.

В связи с этим в последнее время горный инженер все больше в своей работе полагается на помощь автоматизированных систем, на рынке которых появляется все больше предложений. Не слишком легко выбрать среди представленных информационных систем подходящую именно для данного предприятия с учетом его специфики и сложившихся традиций в работе. Поэтому автор статьи поставил перед собой задачу провести предварительный сравнительный анализ программных продуктов, имеющих в своем распоряжении модули расчета оптимальных контуров карьера для стратегического планирования работы горнорудного предприятия. Надеемся, что изложенный субъективный опыт поможет читателям сделать обоснованный выбор программы для автоматизации планирования горных процессов.

Вопросом автоматизированных расчетов контуров карьера я уже некоторое время интересовался, поэтому решил сравнить те программы, которые были на слуху, отложились в памяти и, о которых слышал какие-то положительные отзывы экспертов –K-MINE, Surpac и Whittle.

На необъятных просторах интернета можно найти демо-версии этих программ, и каждая из них снабжена внушительным и вызывающим уважение перечнем предоставляемых функций. K-MINE – динамично развивающаяся геоинформационная система (ГИС), впитывающая в себя новейшие тенденции в области автоматизированных систем управления. Surpac позиционирует себя как модульная горно-геологическая система класса АСУТП с высокой функциональностью. Whittle имеет репутацию программы, специализированной в вопросах перспективного (стратегического) планирования развития горных работ и приспособленной для многих аспектов этого вида планирования.

Анализ документации названных программных продуктов в вопросе оптимизации контуров карьера, позволяет сформировать структуру этого процесса, состоящую из следующих этапов:

формирование и верификация блочной модели месторождения;

подготовка технико-экономических данных добычи и переработки горной массы;

указание горно-технических факторов отработки месторождения;

задание дополнительных показателей;

выбор метода оптимизации контуров карьера и установок отображения результата в графическом поле программы;

вариации отпускной цены конечного продукта горного предприятия с целью формирования серии вложенных карьеров, отображающих порядок отработки месторождения;

формирование и анализ отчетной документации по расчетам.

Выполним сравнение вышеназванных программ по этим пунктам.

1.Формирование и верификация блочной модели месторождения.

Исходными данными при оптимизации контуров карьера является геологическая блочная модель месторождения. Все три рассматриваемые программы используют подобный подход. В первую очередь, это обусловлено наличием методов и алгоритмов обработки такой информации с целью получения конечного результата – контуров карьера, оптимальных с точки зрения экономических показателей его работы. Алгоритмов нахождения оптимума карьера без использования блочных моделей, например, для каркасных моделей, которые применяются в мировой практике, автору не знакомы.

При запуске Whittle предлагает выбрать уже подготовленные типовые проекты, входящие в состав ПО. Рассмотрим проект под названием Marvin Copper (рис. 1). Месторождение сложено породами, содержащими Au и Cu, его блочная модель загружается при загрузке самого проекта. В модели порядка 1 млн. элементарных блоков, они все имеют одинаковые геометрические размеры – кубики со стороной 30 м. Может, и не самый типичный случай месторождения, но почему-то многие зарубежные компании, разработчики ГИС, любят рассматривать именно золоторудные месторождения. Каким-либо образом увидеть блочную модель при помощи Whittle довольно непросто, вообще работа с графикой неинтуитивна и неудобна. Есть интересная возможность отображать разрезы блочной модели по разным осям координат и видеть параметры полезного компонента блока при подведении курсора мышки, но данное обстоятельство оказывается неудобным (при миллионе-то блоков!), особенно для областей, находящихся в глубинах рудного тела. В целом в плане анализа блочной модели Whittle разочаровывает – скорее всего, такой анализ доступен на этапе ее генерации, но создавать и анализировать модель могут разные люди. У Whittle при загрузке блочной модели есть возможность укрупнить блоки. Данное действие приводит к ускорению расчетов, но в свою очередь снижает их точность, причем иногда существенно.

Рис. 1. Некоторые возможности плоскостного отображения блочной модели у Whittle

И в Surpac, и в K-MINE сразу после загрузки блочной модели есть возможность ее рассмотреть во всяческих ракурсах: выполнить градиентную заливку блоков по значениям содержаний, указать системы координат, отсортировать отображение блоков по условиям (например, только рудные блоки, или блоки со значением содержаний выше бортового). В K-MINE можно установить градиентную заливку, выбрать необходимый параметр отображения (отфильтровать ненужные блоки), в результате чего пользователь может выполнить первый прикидочный анализ сформированной блочной модели месторождения, наметить для себя первоочередные области отработки и т.п. Т.е. уже на этом этапе процесс создания проекта карьера запускается в первую очередь в голове проектировщика, а затем он сопровождается точными расчетами и моделями.

Рис.2. Модель проекта Марвина (K-MINE)

В целом, проработка вопросов в области использования блочных моделей лучше всего реализована в K-MINE. Во-первых, моделей можно загрузить несколько; если в процессе анализа месторождения создано несколько моделей (по типам пород, по отдельным участкам месторождения и т.п.), то можно их подгрузить каждую со своими параметрами, и затем указать, какие из них учитывать при оптимизации контуров карьера. Во-вторых, размеры блоков в полученном винегрете загруженных моделей могут быть разными, но это не скажется на качестве расчета – определенным образом блоки трансформируются с пересчетом их параметров качества руды. Ни Whittle, ни Surpac такими возможностями не располагают: размер блока задается жестко и может определенным образом изменяться уже на последующих этапах, после использования параметров блоков для оптимизации.

У К-MINE плюс к тому есть еще редактор вектора свойств блочной модели. Если умело его использовать, то можно подготовить данные для расчета оптимальных контуров совершенно в том виде, каком необходимо проектировщику: можно использовать множество математических и логических функций, использовать настройки единиц измерения, денежных единиц и т.п.

2.Подготовка технико-экономических данных добычи и переработки горной массы.

В этом отношении подход всех трех программ достаточно похож: для каждого блока модели нужно найти экономическую оценку, показывающую его стоимость для случая добычи и переработки руды из блока, как если бы этот блок отрабатывался индивидуально, без учета его зависимости от взаимного положения других блоков. Понятно, что нужно указать стоимость единицы товарной продукции, полученной из блока, стоимость добычи и переработки, бортовое минимальное содержание руды в породе, содержание руды в концентрате, выход концентрата.

У Whittle последние три параметры каким-то образом приняты по умолчанию, зато подробнее, чем у двух других ГИС, рассмотрены затраты, которые называют административными и накладными (или общепроизводственными). Кроме того, в отличие от ГИС K-MINE и программы Surpac, расходы никак не дифференцируются с глубиной залегания блока, хотя блок одного типа руды на глубинах в 100 м и 300 м может требовать разных затрат, хотя бы на транспортирование. К преимуществам Whittle можно отнести возможность формирования выражения для расчета чистой стоимости блока – практически каждое месторождение уникально и, наверное, тяжело представить универсальную формулу для расчета дохода от реализации руды из данного блока.

Положительные аспекты в пользу K-MINE: кроме всех настроек, наличествующих у Surpac, в системе разделены затраты на добычные, транспортные, горно-капитальные и буро-взрывные работы – действительно, часто на этом этапе расчета уже можно их различать по глубине, и возможность указать эти параметры может иметь большое значение.

У Surpac и Whittle некоторое внимание уделяется возможности указания разных величин измерения содержаний полезного компонента (граммы или % и т.п.). В K-MINE эти настройки реализуются при помощи редактора вектора свойств блочной модели и могут быть заданы произвольно.

3.Указание горно-технических факторов отработки месторождения.

Здесь предполагается задание угла откоса борта будущего карьера.

Whittle и K-MINE позволяют указать максимальный угол наклона борта карьера для произвольного дирекционного азимутального угла.

У Surpac есть возможность задавать данный угол для указанных типов пород, но только для четырех основных и четырех дополнительных направлений горизонта (С, СВ, …).

Все три программы могут отображать ЦТМ топоповерхности.

4.Задание дополнительных показателей.

У Surpac, в отличие от двух других ГИС, можно указать вертикальные пределы, т.е. рассчитать контуры между двумя вертикальными плоскостями.

У K-MINE другая возможная настройка: можно добавить блоки пустой породы у боковых и нижних граничных плоскостей блочной модели. Объяснение этой возможности логичное: если блочная модель у своих границ будет содержать блоки с богатой рудой, то алгоритмы расчета могут сформировать контуры, в которые не войдут эти блоки, хотя каких-либо горно-технико-экономических факторов для этого нет; а при добавлении пустых блоков у пограничных блоков есть шанс попасть внутрь контуров.

Подобный подход особенно актуален в тех случаях, когда блочная модель создается не на основании прототипа, имеющего форму параллелепипеда, а путем наполнения ограничивающих каркасов, имеющих произвольную форму.

5. Выбор метода оптимизации контуров карьера и установок отображения результата в графическом поле программы.

В советской литературе рассматривался в основном только метод вариантов, который довольно трудоемкий и предполагает активное участие в процессе проектировщика. Средства для использования данного метода есть в K-MINE и в Surpac.

Описание методов, используемых зарубежными программами, приводил Ю.П. Астафьев после анализа систем управления горными работами за рубежом. K-MINE предлагает проектировщику наибольший выбор используемых алгоритмов расчета: плавающего конуса, Лерчса-Гроссмана: плоский и объемный.

Surpac тоже дает возможность выбора алгоритма плавающего конуса или Лерчса-Гроссмана, при этом в документации утверждается, что последний алгоритм определенным образом модифицирован для оптимизации расчетов. То же самое утверждает и Whittle, причем метод плавающего конуса в данной системе не представлен.

Еще один важный аспект – способ отображения результатов расчета. У Whittle и Surpac – это набор блоков, формирующих оптимальные контуры карьера, есть некоторые процедуры графического сглаживания.

Рис. 3. Отображение результатов расчета набором блоков (Whittle)

Рис. 4. Отображение результатов расчета сглаженным пространственным контуром (Whittle)

У K-MINE результат оптимального карьера можно увидеть в трех видах: набором блоков, изолиний или контуров.

Рис. 5. Отображение результата расчета набором блоков (K-MINE)

Рис. 6. Отображение результатов расчета набором изолиний (K-MINE)

Результат расчета – величина промежуточная, служащая основой для последующих построений проекта карьера. Хотя, в принципе, делом вкуса проектировщика является выбор способа отображения, более предпочтительным для проектировщика является решение от K-MINE, которое включает набор изолиний, определяющих контуры горизонтов. Данный способ является наиболее предпочтительным, вследствие его реальной практической приближенности к последующим построениям. Как видно из рисунка, это уже схема горизонтов карьера, которая может быть взята за основу для построения бровок уступов, берм, транспортных коммуникаций для вывоза горной массы и других параметров проектируемого карьера.

6.Изменение отпускной цены конечного продукта горного предприятия с целью формирования серии вложенных карьеров, отображающих порядок отработки месторождения.

Зарубежные программы придают этому этапу расчета довольно существенное внимание. Они искусственно уменьшают или увеличивают отпускную цену конечного продукта, в результате получают карьер меньший или больший по объему, чем при исходной цене, т.е. получается несколько вложенных карьеров. Эта вложенность позволяет определять направленность отработки месторождения – переход от меньшего карьера к большему и есть этап его отработки.

Анализ возможности разных программ с точки зрения календарного планирования не выполнялся, однако эта часть планирования, представленная зарубежными программами, вызывает массу вопросов среди специалистов-горняков:

В первую очередь, карьер должен выполнить план по руде – ее количеству и качеству. А если в том объеме, который предусмотрен к добыче между двумя вложенными карьерами, ее недостаточно, или она не позволит сформировать шихту нужного качества?

Один и тот же конечный карьер можно отработать разными способами в зависимости от выбранной системы разработки карьера и системы транспортирования горной массы. А если тот объем руды, который попал между двумя вложенными карьерами, нерационально получать для выбранных систем?

Это первые вопросы, которые приходят на ум человеку, которого учили после определения предварительных контуров отработки, выбирать систему разработки и другие технические элементы будущего карьера, ориентируясь на выбранную годовую производительность и парк оборудования, и только после этого на основании рассчитанного коэффициента вскрыши формировать календарь отработки. Но это тема уже для другой статьи.

Если вернуться к построению вложенных карьеров, то следует заметить, что у всех анализируемых программ практически идентичные функциональные возможности. Можно указать процент (или коэффициент) уменьшения/увеличения цены конечного продукта, а получаемый карьер представить на экране в разном виде (цвет, прозрачность и т.п.).

Но и здесь можно отметить К-MINE: есть возможность вносить корректировки во все технико-экономические показатели – как в цену конечного продукта, так и, например, в значение минимального бортового содержания или содержание полезного компонента в конечном продукте. Подобной опции нет ни у Surpac, ни у Whittle.

7.Формирование и анализ отчетных форм.

Отчет Whittle о параметрах спроектированного карьера для ознакомления – приемлемый. Но тот отчет, который формируется для дальнейшего использования, не очень удобен: это текстовый файл, неструктурированный, без пояснений, без итогов – в общем, неудачный и непрактичный.

Рис. 7. Отчет, скомпилированный Whittle о спроектированном карьере

Отчет у Surpac намного понятнее, в приведенном базовом примере, уделено большое внимание образцам отчетов. Но он также не идеален, поскольку создан в виде текстового файла, хотя для такого типа информации напрашивается структура таблицы.

Вот K-MINE не стал особо мудрить и представляет пользователю таблицу с разбиением данных по условным горизонтам.

Рис. Отчет об оптимальном карьере, скомпилированный K-MINE

Кроме того, в такой отчет можно вносить изменения: добавить столбцы, связывать их с программными переменными, изменять шапку таблицы, изменять названия столбцов. Такой отчет можно вывести на печатающее устройство или экспортировать в другой формат (Excel, XML, HTML, Text, PDF или изображение) – масса удобств и возможностей.

У всех трех программ есть возможность рассчитать дисконтированный денежный поток за все время отработки месторождения, указав коэффициент дисконтирования и годовую производительность карьера. Но при этом K-MINE ориентируется на годовую производительность карьера по руде (что обычно используется в практике), а Surpac и Whittle – на годовую производительность по горной массе (что довольно непрактично, поскольку может приводить к недопустимым по техническим показателям коэффициентам вскрыши).

Вывод. Результаты сравнения сведем в таблицу.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Возможности | K-MINE | Surpac | Whittle |
| 1.Формирование и верификация блочной модели месторождения | 7 | 3 | 1 |
| градиентная заливка | + | + | + |
| указание системы координат | + | + | - |
| фильтрация отображения блоков по условию | + | + | - |
| загрузка нескольких блочных моделей для расчета | + | - | - |
| указание параметров разных блочных моделей | + | - | - |
| использование блочных моделей с переменным размером блока | + | - | - |
| редактор свойств блочной модели | + | - | - |
| 2.Подготовка технико-экономических данных добычи и переработки горной массы | 10 | 9 | 8 |
| стоимость единицы товарной продукции, полученной из блока | + | + | + |
| стоимость добычи | + | + | + |
| стоимость переработки | + | + | + |
| бортовое минимальное содержание руды в породе | + | + | - |
| содержание руды в концентрате | + | + | - |
| дифференциация затрат по типам работ | + | + | - |
| дифференциация затрат по глубине | + | + | - |
| общепроизводственные затраты | - | - | + |
| формирование выражения для расчета ценности блока | + | - | + |
| настройки типа денежных единиц | + | + | + |
| настройки единиц измерения полезного компонента | + | + | + |
| настройки единиц веса при формирования отчетов | - | - | + |
| 3.Указание горно-технических факторов отработки месторождения | 2 | 1 | 2 |
| задание угла наклона борта карьера для произвольного азимутального угла | + | - | + |
| отображение ЦТМ топоповерхности | + | + | + |
| 4.Задание дополнительных показателей | 2 | 1 | 1 |
| вертикальные пределы учета блочной модели | + | + | - |
| введение дополнительных пустых блоков на боковых и нижних плоскостях блочной модели | + | - | - |
| 5.Выбор метода оптимизации контуров карьера и установок отображения результата в графическом поле программы | 9 | 4 | 3 |
| средства реализации метода вариантов | + | + | - |
| метод Лерчса-Гроссмана пространственный | + | + | + |
| метод Лерчса-Гроссмана плоский | + | - | - |
| метод плавающего конуса | + | + | - |
| отображение результатов расчета набором блоков | + | + | + |
| графическое сглаживание набора блоков | + | - | + |
| отображение результатов расчета набором изолиний | + | - | - |
| отображение результатов расчета набором контуров | + | - | - |
| размещение полученных результатов расчета по слоям, соответствующим условным горизонтам | + | - | - |
| 6.Изменение отпускной цены конечного продукта горного предприятия с целью формирования серии вложенных карьеров, отображающих порядок отработки месторождения | 3 | 2 | 1 |
| указание процента (или коэффициента) уменьшения/увеличения цены конечного продукта | + | + | + |
| представление получаемого карьера на экране в разных видах (цвет, прозрачность и т.п.) | + | + | - |
| возможность искусственной коррекции всяких экономических показателей | + | - | - |
| 7.Формирование и анализ отчетных форм | 5 | 2 | 2 |
| возможность предварительной коррекции вида отчета | + | - | - |
| сохранение отчета в других форматах | + | - | + |
| анализ полученного карьера по отдельным зонам и горизонтам при помощи отчета | + | + | - |
| расчет дисконтированного денежного потока | + | + | + |
| расчет технико-экономических показателей для достижения плановой производительности карьера по руде | + | - | - |
| Итого | 38 | 22 | 18 |

Внимательно оценивая полученные результаты сравнения, напрашивается очевидный выбор в пользу K-MINE. По многим пунктам она превосходит те программные продукты, которые были рассмотрены в данном обзоре, ни по одному не уступает. Кроме того, система имеет хорошие отзывы о сопровождении, которое представляет фирма-разработчик K-MINE. Импонирует подход к построению работы пользователя с K-MINE. На мой взгляд, он исходит в первую очередь из удобства работы инженера с ГИС, а не из удобства программирования какой-либо задачи. Еще один немаловажный аспект: пока происходило знакомство с модулем оптимизации карьера в K-MINE, не было никаких неадекватных реакций со стороны компьютера; во время работы с другими программами – появлялись то системные ошибки, то какие-то совершенно непонятные сообщения.

Surpac – комплекс программ высокого уровня, однако он не производит настолько благоприятного впечатления, как K-MINE, некоторые довольно существенные операции в нем или недоступны или еще не разработаны.

Разочаровал Whittle, практически всеми аспектами сравнения – графическими, настроечными, отчетными. Хотя рекламные проспекты фирмы Gemcom и обещают возможность русификации ее программных продуктов, но все-таки демо-версия Whittle была англоязычной, со всеми вытекающими отсюда последствиями для отечественного пользователя, не очень уверенно владеющего иностранными языками. Кроме того, нужно учитывать, что подход к оптимизации контуров карьера и вообще перспективному планированию на постсоветском пространстве и в западных странах разнится, порой существенно, поэтому K-MINE, Surpac и Whittle могут по-разному программировать подход к планированию.