

## **Проектирование разработки месторождений на основе компьютерного моделирования**

**Скаженик В.Б.**

Донецкий национальный технический университет, Донецк, Украина

При проектировании разработки месторождений полезных ископаемых принимаемая совокупность решений включает набор пространственных, ресурсных, организационных и плановых решений. Совокупность принимаемых решений в конечном итоге определяет структуру и развитие во времени горнодобывающего предприятия, ограничивает, или наоборот, способствует принятию новых направлений в развитии горных работ при изменении условий разработки, предопределяет показатели эффективности отработки месторождения.

Варианты развития горнодобывающего предприятия, рассматриваемые при проектировании, по сути, предопределяют «траекторию движения» горнодобывающего объекта во времени и пространстве. Эта «траектория» характеризуется совокупностью изменяющихся во времени параметров, соответствующих состоянию объекта.

Основные проблемы, возникающие при проектировании горнодобывающих предприятий, связаны с многообразием условий разработки месторождений, с постоянно изменяющимся фронтом подготовительных и добычных работ, с непредсказуемостью факторов внешней и внутренней среды, влияющих на принятие решений.

Поиск обоснованных решений при проектировании осложняется низкой достоверностью горно-геологических условий разработки а также погрешностями в оценке прогнозной стоимости ресурсов и цены добываемого полезного ископаемого.

Традиционные подходы при проектировании разработки месторождений основаны на рассмотрении нескольких альтернативных вариантов при фиксированных значениях влияющих факторов внешней и внутренней среды. Такие подходы обусловлены ограниченностью инструментария, которым пользуются проектные организации, отсутствием необходимых программных средств или необученностью персонала.

Основной инструментарий при проектировании разработки месторождений в большинстве случаев – система автоматизированного проектирования и черчения Автокад (для графических задач). Использование программных средств только для автоматизации черчения не позволяет обеспечить качественный прорыв в технологии проектирования, резко увеличить количество рассматриваемых вариантов и перейти к динамическому проектированию. Как показывает практика, повышение уровня использования этих средств возможно за счет разработки методологии проектирования, дополнительного изучения всех режимов системы. Эффективность системы проектирования может быть повышена за счёт построения цельной интегрированной информационной среды. Такая среда должна объединять разрозненные задачи, функционировать на основе единой базы данных, включать как графические средства автоматизированного проектирования, так и расчетные модули.

В то же время проектирование горных работ имеет ряд особенностей по сравнению с проектированием в других областях. В силу этих особенностей для горнодобывающих предприятий создаётся специализированное программное обеспечение. Наиболее известные разработчики горных систем общего назначения – компании Gemcom, Maptek, Datamine [1]. В последнее время на рынке стран СНГ широко распространяется программное обеспечение компании Micromine.

Технология создания первичной модели месторождения в этих программных продуктах и подходы к решению задач проектирования и планирования во многом сходны. Основные этапы при этом: создание цифровой базы данных геологической информации (инклинометрия скважин, данные опробования), векторизация графической документации

(планов и разрезов), построение модели основных объектов (поверхности – по изолиниям поверхности, скважин - по инклинометрии, проб - по данным опробования), оконтуривание залежей полезного ископаемого, построение ранее пройденных подземных горных выработок и отработанного пространства. Объекты модели представляются каркасами, поверхностями, твёрдыми телами посредством блочного моделирования.

Проектирование открытых горных работ включает определение конечных контуров карьера исходя из заданных параметров берм, откосов и пространственных ограничений а также строительство дорог, горно-технических сооружений. При этом могут использоваться оптимизационные алгоритмы, обеспечивающие построение наиболее целесообразного контура карьера при заданных геологических, технологических и экономических параметрах.

Проектирование подземной разработки месторождений в горных системах общего назначения включает различные способы построения проектных вскрывающих, подготовительных и очистных горных выработок, набор шаблонов объектов проектирования, расчёт параметров буровзрывных работ.

Объектно-ориентированные подходы к объёмному моделированию открытых горных работ рассмотрены в работах ряда авторов [2,3]. Однако вопросы формализации и научного обобщения технологии проектирования разработки месторождений с использованием компьютерных моделей в полной мере не рассматривались.

Цель данной работы – на примере проектирования разработки месторождений исследовать процессы проектирования и наметить подходы к совершенствованию технологии проектирования на основе компьютерного моделирования.

Рассмотрим процесс принятия проектных решений на примере россыпных месторождений, разрабатываемых открытым способом.

Исходная графическая информация, используемая при проектировании: поверхность местности, представленная, как правило, изолиниями поверхности и высотными отметками устьев скважин; оконтуренная залежь, представленная контурами пласта на поперечных разрезах россыпи вдоль разведочных линий. Исходная цифровая информация – результаты подсчёта запасов в геологических блоках.

В процессе проектирования разработки неглубоких россыпей (бульдозерная вскрыша и разработка песков) определяются следующие показатели: эксплуатационные показатели (объём добываемых песков, объём вскрываемых торфов, потери и разубоживание горной массы, добытый металл); параметры добычного блока и длина транспортировки горной массы; параметры отвалообразования (длина и высота отвала); нарушаемые площади и снимаемые объёмы почвенно-растительного слоя; объёмы планировочных работ при рекультивации.

В графической части проекта представлены: план горных работ с отражением блокировки запасов; контуры карьера; размещение отвалов торфов и почвенно-растительного слоя; размещение осветлителей воды, трассы руслоотводного и нагорного каналов. На поперечном разрезе вдоль разведочной линии отражается контур залежи с учётом недовскрыши и задирки плотика, отвалы, разрезы каналов, контур отвала торфов после рекультивации.

С целью автоматизации проектирования разработан комплекс программных средств «Россыпь-проектирование». Основные моделируемые объекты: поверхность россыпи до разработки; трёхмерная модель залежи; модель отвалов; модель дамб, нагорных и руслоотводных каналов; модель поверхности после проведения горных работ и рекультивации.

В программном комплексе автоматизировано построение разрезов – обеспечена возможность построения разрезов любой плоскостью с заданным коридором видимости и экспортом полученных результатов в dxf-файл на плоскость или в трёхмерных координатах (рис. 1).

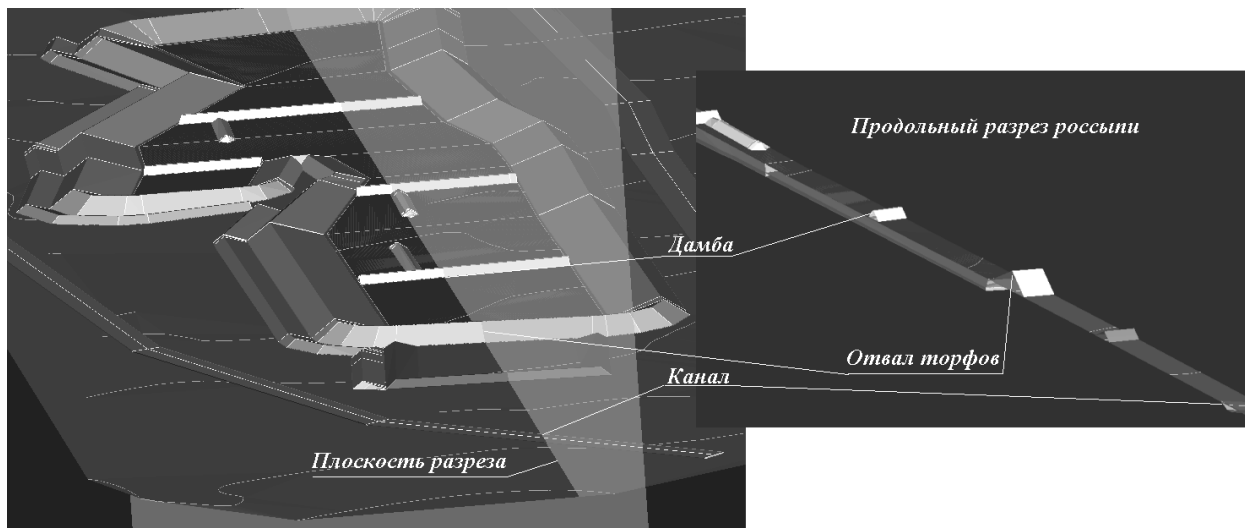


Рис. 1. Модель россыпного карьера и продольный разрез с коридором 10 м

Автоматизировано построение откосов бортов карьера, дамб по заданному сечению, руслоотводного и нагорного каналов (указание сечения и трассы канала в плане, построение продольного профиля канала, расчет уклонов, глубины выемки, объема выемки), отвалов с учетом рельефа местности.

Обеспечен автоматизированный расчет объемов объектов модели, подготовка графической документации (планов и разрезов россыпи) с отображением основных проектных решений, экспорт графической документации в другие системы с целью окончательного оформления чертежей.

При проектировании отвалов, дамб, каналов программный инструментарий позволяет построить сопряжение граней проектируемого объекта с поверхностью (рис.2).

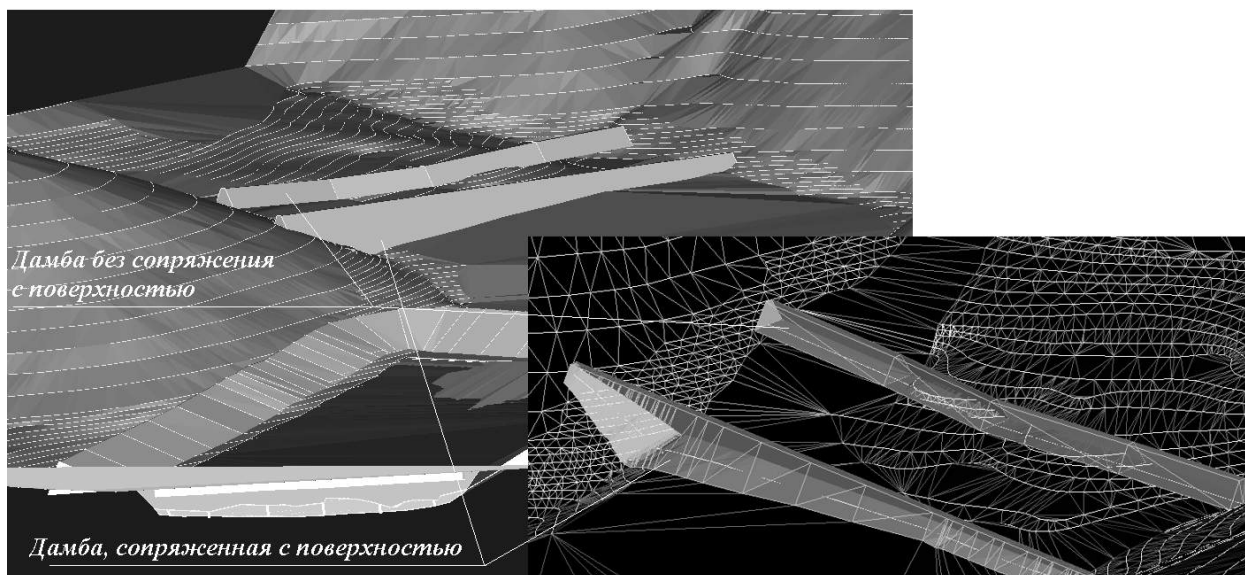


Рис. 2. Построение объектов в режиме сопряжения граней с поверхностью

При автоматизации проектных работ задача заключается в создании инструментария для компьютерного моделирования объектов модели и принимаемых решений. При этом необходимо минимизировать количество создаваемых программных модулей, функций и подпрограмм за счёт типизации задач проектирования, выделения общих и частных характеристик задач.

В процессе разработки программного комплекса «Россыпь-проектирование» произведена систематизация требуемых функций проектирования и способов их решения с позиций выделения общих процедур в технологии решения этих задач (табл. 1).

Таблица 1. Совокупность графических задач при проектировании россыпного карьера

| № задачи | Название задачи   | Способы решения  | Программный инструментарий  |
|----------|---|--|---|
| 1        | Построение контура эксплуатационных запасов                   | Добавление к контуру геологического блока объёмов недовскрыши песков и задирки плотика   | Корректировка контуров по разрезам россыпи в соответствии с параметрами недовскрыши песков и задирки плотика, построение каркасной модели эксплуатационных блоков |
| 2        | Построение контура карьера на этапе окончания вскрышных работ | Определение тела вскрываемых торфов исходя из поверхности эксплуатационного блока, дневной поверхности и угла заложения откоса борта карьера         | Добавление в триангуляцию дневной поверхности точек поверхности откосов и поверхности верха эксплуатационного блока   |
| 3        | Построение контура карьера на этапе окончания добычных работ  | Добавление к объёмам вскрываемых торфов объёма эксплуатационного блока   | Добавление в триангуляцию точек поверхности низа эксплуатационного блока  |
| 4        | Построение отвалов почвенно-растительного слоя                | Определение параметров сечения исходя из рассчитанного объёма почвенно-растительного слоя и характеристик места расположения (площадь, длина, уклон) | Указание или расчёт параметров сечения, проведение трассы расположения отвалов, привязка трассы отвалов к поверхности или сопряжение граней с поверхностью        |
| 5        | Построение отвалов торфов                                     | Определение параметров сечения исходя из рассчитанного объёма торфов и характеристик места расположения (площадь, длина, уклон)                      | Указание или расчёт параметров сечения, проведение трассы расположения отвалов, привязка трассы отвалов к поверхности или сопряжение граней с поверхностью        |
| 6        | Построение дамб   | Выбор параметров сечения, определение месторасположения дамбы  | Указание параметров сечения, указание трассы дамбы, привязка трассы к поверхности или сопряжение граней с поверхностью  |
| 7        | Построение каналов  | Выбор параметров сечения, определение трассы канала  | Указание параметров сечения канала, указание трассы, сопряжение граней с поверхностью   |
| 8        | Построение разрезов   | Выбор секущей плоскости, построение разреза  | Задание параметров секущей плоскости, визуа-  |

|    |                                   |   |  |
|----|-----------------------------------|---|--|
|    |                                   |   | лизация разреза, экспорт разреза в формате dxf-файлов  |
| 9  | Рекультивация поверхности карьера | Определение объёмов срезки внешних, внутренних и галлефельных отвалов | Задание параметров граничной плоскости в соответствии с требованиями рекультивации, определение объёма тела над граничной плоскостью                                   |
| 10 | Построение отстойников            | Графическое построение, определение фактического объёма               | Задание уровня воды посредством указания горизонтальной секущей плоскости, расчёт объёма тела, ограниченного поверхностью карьера, дамбами и горизонтальной плоскостью |

При построении объектов (отвалов, дамб, каналов) может использоваться программный инструментарий во многом общий, однако в зависимости от конкретной ситуации возможно использование различных модификаций этого инструментария. В частности, возможны различные варианты: привязки трассы объекта к поверхности; сопряжения объектов с поверхностью; расположения сечения объекта относительно трассы; задания сечений объектов (табл.2).

Таблица 2. Варианты построения объектов модели

| Программный инструментарий                       | № варианта | Варианты  |
|--|------------|---|
| Привязка трассы объекта к поверхности            | 1.1        | Без привязки  |
|  | 1.2        | С привязкой   |
| Сопряжения объектов с поверхностью               | 2.1        | Без сопряжения граней объекта с поверхностью              |
|  | 2.2        | С сопряжением граней объекта с поверхностью               |
| Расположение сечения объекта относительно трассы | 3.1        | По центру   |
|  | 3.2        | По левому краю  |
|  | 3.3        | По правому краю   |
| Задание сечений объектов                         | 4.1        | Задание параметров трапеции                               |
|  | 4.2        | Задание объёма, длины трассы и расчёт параметров трапеции |

Обобщая программный инструментарий, необходимый для реализации задач проектирования разработки россыпей, можно выделить общие функции программного обеспечения (табл. 3).

Таблица 3. Функции программного обеспечения

| № функции | Название                                      | Номера задач, для которых необходима функция (в соответствии с табл.1) |
|-----------|---|--|
| 1         | Построение каркасной модели блока по разрезам | 1  |

|   |  |                  |
|---|--|------------------|
| 2 | Добавление в триангуляцию поверхности новых объектов | 2, 3             |
| 3 | Указание трассы объекта                              | 4, 5, 6, 7       |
| 4 | Задание параметров сечения объекта                   | 4, 5, 6, 7       |
| 5 | Привязка трассы объекта к поверхности                | 4, 5, 6          |
| 6 | Сопряжение граней объекта с поверхностью             | 4, 5, 6, 7       |
| 7 | Задание параметров плоскости                         | 8, 9, 10         |
| 8 | Построение разрезов                                  | 8, 9, 10         |
| 9 | Определение объёмов тела                             | 4, 5, 6, 7, 9,10 |

Формализовать взаимосвязи между совокупностью задач, инструментами решения этих задач и вариантами инструментария в терминах теории множеств можно следующим образом [2].

Множество задач, перечисленных в таблице 1, включает 10 элементов:

$$Z = \{z1, z2 \dots z10\}. \quad (1)$$

Множество программных инструментов (функций), используемых при решении задач (табл.3):

$$F = \{f1, f2 \dots f9\}. \quad (2)$$

Некоторые функции программного обеспечения (перечисленные в таблице 2) имеют варианты использования, т.е. настраиваются в зависимости от решаемой задачи:

$$f_i = \{v_{i1}, v_{i2}, v_{ij} \dots v_{im}\}, \quad (3)$$

где  $v_{ij}$  -  $j$ -й вариант  $i$ -й функции;  
 $m$  – количество вариантов.

При решении конкретной задачи проектирования необходимо в определённой последовательности применить некоторые функции множества  $F$ , выбрав подходящий вариант  $v_{ij}$  использования функции.

Такое представление структурирует задачи проектирования и обеспечивает формализацию процессов при решении задач проектирования с использованием компьютерных моделей.

Проведенный анализ процесса проектирования разработки месторождений позволил выделить задачи проектирования, способы решения этих задач и необходимый программный инструментарий. Систематизация и формализация процессов проектирования позволяет усовершенствовать процесс проектирования и оптимизировать разработку системы автоматизированного проектирования.

#### Библиографический список

1. Капутин Ю. Е. Горные компьютерные технологии и геостатистика. - Спб.: Недра, 2002. - 424 с.
2. Шоломицкий А. А. Научные основы объёмного моделирования и маркшейдерского информационного обеспечения открытых горных работ : автореф. дис. ... д-ра техн. наук. : 05.15.01 / А. А. Шоломицкий ; ДонНТУ. - Донецк, 2006. - 35 с.
3. Федунец Н.И., Фомичева О.Е. Технология объектно-ориентированного программирования интеллектуальной системы поддержки диспетчера // Программные продукты и системы. – Тверь: НИИ ЦПС - 1994. - № 3. - С. 36–40.