

УДК 622.271.4:518.5

И.В. Назаров

ПРИМЕНЕНИЕ ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ РАБОТЫ ДРАГЛАЙНОВ

Рассмотрены особенности математического моделирования технологий перевалки взорванной полускальной вскрыши драглайнами. Для реализации данных моделей предложено сочетание численных методов математического моделирования с эмпирическими и геометрическими методами. Описаны постановки прямой задачи численного моделирования для простых одноходовых технологий и прямых и обратных задач для усложненных многоходовых технологий.

Ключевые слова: численные методы, математическое моделирование, драглайн.

1 Обоснование методологии моделирования

Системы разработки с поперечным перемещением вскрышных пород в выработанное пространство с помощью экскаваторов – драглайнов (бестранспортные системы разработки по классификации Н.В.Мельникова [1]) являются одними из наиболее энерго-сберегающих и экологически чистых технологий ведения открытых горных работ. Но, так как условия ведения горных работ постоянно ухудшаются (в связи с углублением карьеров и выработкой «легких» запасов) [2], объемы бестранспортной вскрыши уменьшаются, что, помимо прочего, ведет к увеличению энергоемкости и себестоимости добычи угля. Кроме того, при этом увеличивается экологическая нагрузка на ландшафты из-за необходимости отторжения земель под внешние отвалы. Сохранение объемов вскрышных пород, перемещаемых бестранспортным способом во внутренние отвалы, на более длительный срок возможно только за счет усложнения технологических решений, перехода к технологиям с многократной перевалкой пород (далее – многоходовым технологиям).

Проектирование подобных технологических систем является сложной инженерной задачей, требующей значительных трудозатрат высококвалифицированного персонала. Но, с другой стороны, в смежных областях наук о Земле существует успешных опыт решения не менее сложных задач с помощью численных методов математического моделирования. С помощью численных методов решаются, например, задачи определения положения нефтегазовых пластов при сейсмической разведке, прогнозирования гидродинамических процессов в пласте и скважинах при моделировании разработки месторождений углеводородов [3]. В горной науке численные методы применяются для вычисления оптимальных контуров карьеров, календарного планирования, экономического анализа и т.д. [4,5]. Поэтому применение численных методов математического моделирования для создания современных информационно-вычислительных комплексов, позволяющих автоматизировать проектирование многоходовых технологий, повысить точность прогноза, эффективность и экологическую безопасность вскрыш-

ных работ, является актуальной научной задачей в области рационального недропользования.

Целью исследований, обобщенных в данном докладе, являлась разработка математических моделей и создание, на их основе, информационно-аналитического комплекса проектирования (перспективного планирования) технологических схем перевалки взорванных полускальных пород во внутренний отвал одноковшовыми экскаваторами – драглайнами. Эти технологии характерны для ряда крупных угольных карьеров Западной и Восточной Сибири. Объектом исследования являлись условия и результаты проведения горных работ на угольных карьерах при осуществлении бестранспортных или комбинированных технологий перевалки вскрыши, а также методологические подходы, применяемые при проектировании и планировании данных технологий.

Задача исследований была существенно осложнена тем, что традиционные методы моделирования бестранспортных систем разработки были ориентированы на иную предметную среду, а именно, на перевалку рыхлых покрывающих пород месторождений с горизонтальным залеганием угольного пласта. Для данных условий были разработаны достаточно адекватные (хотя и сложно формализованные) аналитические методики и алгоритмы определения пространственного положения элементов системы разработки [6,7]. Также предлагались различные способы адаптации данных аналитических методик для моделирования перевалки взорванных пород на наклонных пластах [1, 2, 8 – 11]: применение коэффициентов подобия, вероятностных постановок или экономико-математического моделирования с системой линейных

ограничений, а также интерактивного (с помощью мыши) позиционирования элементов системы разработки.

На сегодняшний день все методики проектирования бестранспортной системы разработки ориентированы на 2D постановку — поперечные сечения (range and balance diagrams). В ряде зарубежных комплексных горно-геологических пакетов (подпрограммы моделирования драглайнов – DragSim — фирм Runge, Mincom, Gencom) 2D решения на отдельных (группах соседних) поперечных сечениях преобразуются в 3D (2,5D) решения посредством использования различных алгоритмов триангуляции (TIN).

При современных технологиях горных работ сечения поверхностей добычных и вскрышных уступов (далее — массива), развала взорванных горных пород (далее — развала) и существующего внутреннего отвала (далее — отвала) имеют сложное строение и описываются ломаными линиями. Эти ломаные линии, в свою очередь, нельзя аппроксимировать прямыми линиями без значимой потери точности и искажения положения характерных точек. Поэтому, контуры забоя, предотвала (специально формируемой насыпи под рабочей площадкой драглайна) и отсыпаемого отвала на плоскости сечения невозможно представить в виде правильных геометрических фигур – треугольников, трапеций и т.д. Это приводит к необходимости отказа от аналитических подходов, применявшихся для простых условий, где отношения между положением экскаватора и остальными элементами системы разработки можно было представить в виде множества уравнений, основанных на тригонометрических зависимостях.

Основная идея состоит в том, что задачу определения положения эле-

ментов системы разработки (на плоскости поперечного сечения) в вышеизложенных условиях предлагается решать на основании сочетания:

- существующих аналитических функций и эмпирических зависимостей для вычисления времени цикла и скорости подвигания экскаватора — отражающих многолетние практические знания и статистическую обработку результатов наблюдений и экспериментов (оставим за скобками то, что в настоящий момент они во многом устарели и нуждаются в переосмыслении);

- двумерной аналитической геометрии для определения положения элементов системы разработки — векторные и аффинные преобразования, алгоритмы поиска точек пересечения прямых и ломаных, вычисления площади многоугольника, пересечения и объединения многоугольников и т.д.;

- и численных методов математического моделирования — в частности, перебора и оптимизации — для нахождения оптимального (по ряду критериев) положения элементов системы разработки.

В настоящем докладе рассмотрены математические модели трех уровней сложности:

А. определение оптимального (по критерию скорости подвигания драглайна) положения драглайна при однократной перевалке породы из заданного забоя.

Б. определение оптимального (по различным критериям) расположения смежных забоев при усложненных технологиях перевалки.

В. определение оптимального (по критерию минимума разности скоростей подвигания) положения драглайнов при выемке двух смежных забоев.

Эмпирические и геометрические зависимости используются в качестве

функций поведения при определении оптимального положения драглайна — задача (А). Процедуры аналитической геометрии используются для вычисления возможного положения смежных забоев в задачах (Б). Кроме того, с помощью различных процедур аналитической геометрии производится вычисление (проверка) граничных условий в задачах (Б) и (В).

Отметим вложенность задач — задача (А) входит в состав задач (Б), а одна из задач (Б) является основанием для решения задачи (В).

2. Определение оптимального положения драглайна при однократной перевалке породы — задача А.

Сформулируем задачу поиска оптимального положения драглайна в следующей постановке:

2.1. Контур забоя считается заданным, он представляет собой не изменяемый в процессе вычислений замкнутый многоугольник и параметров экскаватора достаточно для его выемки.

2.2. На области определения существуют точки, при установке драглайна в которых свободной отвальной емкости достаточно для полного размещения породы из заданного забоя. Если подобных точек нет, то породу из заданного забоя можно переместить только с использованием многоходовых технологий — задача Б.

2.3. Оптимальной является точка, при установке драглайна в которой скорость подвигания забоя v максимальна. Принимаем, что задача определения скорости подвигания в заданной точке решается аналитически, в том числе с использованием эмпирических зависимостей, изложенных в [2, 12 – 15]. При этом время цикла вычисляется в зависимости от взаимного расположения и площадей контуров трех элементов технологии —

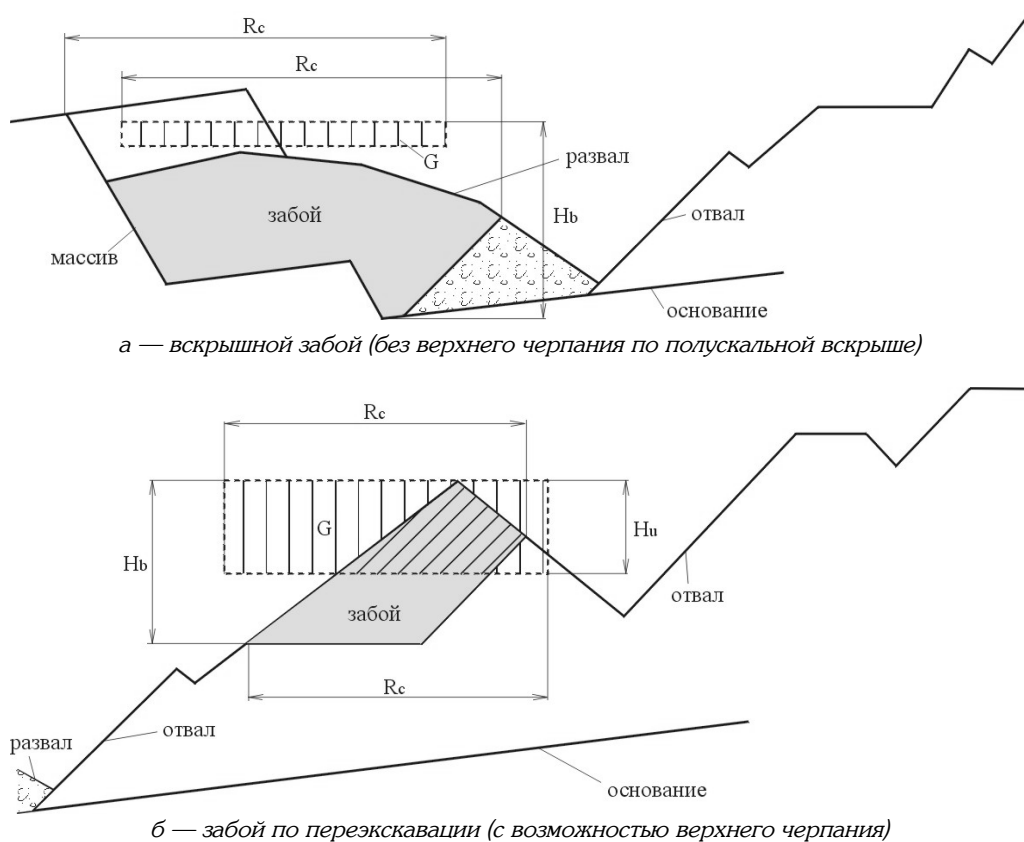


Рис. 1. Взаимосвязь между параметрами драглайна, забоя и границами области G

экскаватора, места черпания (верхний или нижний подступы забоя, предотвал) и места разгрузки (предотвал или отвал).

Эта задача двумерной оптимизации на плоскости $v = f(x, y) \rightarrow \max$. Границы области определения G функции $f(x, y)$ вычисляются в зависимости от значения конструктивных параметров драглайна (радиуса R_c , высоты H_u и глубины H_b черпания) и геометрии забоя (ширина W_c и высота H_c забоя). Взаимозависимость параметров экскаватора и забоя при определении границ области G показана на рис.1. При шаге перебора s , количество точек {G} на области определения функции G равно

$$\{G\} = (2 * R_c - W_c) * (H_u + H_b - H_c) / s^2$$

Анализ, проведенный в [16] показал, что на области G при выполнении условия (2.2) возможно выделение трех подобластей:

G0 – точки, установка драглайна в которых возможна (зона, приближенная к максимумам по осям X и Y области G),

G1 – точки, установка драглайна в которых невозможна из-за нарушения условий безопасной работы. Данные точки располагаются в зонах минимумов и максимумов по X оси, и минимумов по Y оси области G;

G2 – точки, при установке драглайна в которых недостаточно свободной емкости для размещения на-

вала. Данные точки расположены в зонах минимумов по осям X и Y области **G**.

Для решения задачи в подобных условиях применен метод градиентного спуска — с приближенным вычислением частных производных в опорных точках с помощью разностных отношений.

$$df/dx = (f(x \pm s, y) - f(x, y))/s,$$

$$df/dy = (f(x, y \pm s) - f(x, y))/s,$$

Опорной точкой считается точка с наибольшей скоростью подвигания на данном уровне спуска по оси Y. Перебор по оси X на каждом уровне осуществляется только в пределах области **G0** (точнее, пока не диагностировано попадание в области **G1** или **G2**). Если v в опорной точке на уровне $y-s$ меньше чем на уровне y , то v_y считается оптимумом и спуск прекращается. Сходимость алгоритма градиентного спуска зависит от условий ведения работ: чем сложнее условия, т.е. чем больше точек области определения принадлежат к **G1** или **G2**, тем быстрее определяется оптимум. В примере на рис. 1 а (драглайн ЭШ-20/90, $s = 1$ м) было зафиксировано следующее распределение точек — $\{G\} = 426$, $\{G0\} = 9$, в примере на рис. 1 б — $\{G\} = 1512$, $\{G0\} = 146$.

3. Определение оптимального расположения смежных забоев при усложненных технологиях перевалки – задачи Б.

Математические модели многоходовых технологий представляют собой двухуровневый комплекс оптимизационных моделей. Цель комплекса – определение оптимального пространственного (на плоскости поперечного сечения) положения ряда смежных забоев многоходовой технологии, позволяющей уложить во внутренний отвал требуемую площадь

вскрыши с заданным пространственным положением (на верхнем уровне), и оптимального пространственного положения элементов технологии (забоя, отвала и отвала) для каждого смежного хода (на нижнем уровне).

На нижнем уровне (в модели взаимодействия элементов одного хода) решается задача (А), т.е. положение элементов технологии определяются в зависимости от найденного оптимального положения драглайна на данном ходе.

Возможны два варианта размещения смежных ходов, определяемых порядком использования выработанного пространства – экстенсивный и интенсивный. Первый вариант подразумевает, что вторичный ход должен обеспечить необходимое для размещения вскрыши с первичного хода выработанное пространство посредством освобождения дополнительной отвальной емкости. При втором варианте максимально используется уже имеющееся выработанное пространство – посредством применения отшагивания драглайна или разделения заданного объема вскрыши на два смежных хода и последовательной их укладки.

В математических моделях верхнего уровня возможны три варианта решения:

- неудачный (случай 0) – не существует вариантов размещения элементов первичного хода – расчет прекращается;
- переходный (случай 1) — при возможности создания условий для решения задачи нижнего уровня для первичного хода невозможно сформировать технологию реализации вторичного хода — необходим переход на следующую итерацию формирования смежных ходов. При этом задается и рассчитывается вариант модели формирования смежных хо-

дов для полученного положения забоя вторичного хода на предыдущей итерации, а первичный ход предыдущей итерации становится предыдущим (при интенсивном варианте) или последующим (при экстенсивном варианте) ходом. Таким образом, площадь вскрыши первичного хода исключается из дальнейшей итерации вычислений и для данного хода производится только расчет нижнего уровня. Именно при выявлении случая 1 формируются много (более чем двух) ходовые схемы;

- удачное (случай 2) – существует решение задач нижнего уровня — как для первичного, так и для вторичного ходов – задача является решенной.

При экстенсивном варианте использования выработанного пространства первым осуществляется ход, находящийся дальше от борта (вторичный), хотя его положение зависит от параметров экскаватора и расположения забоя на ближнем ходе (первичном). Возможны два подварианта реализации экстенсивного подхода: (Б1) — без пересечения контуров первичного и вторичного забоев (синоним – технология с разрядкой отвала), (Б2) — с пересечением контуров первичного и вторичного забоев (синоним – технология с перекрестным забоем).

При экстенсивном варианте положение забоя на первичном ходе является заданным, хотя положение других его элементов может изменяться. На первом этапе вычисляется начальное размещение забоев смежных ходов – рис.2, где S_w — заданный контур забоя на первичном ходе; S_r — вычисленный контур забоя на вторичном ходе; W – максимально возможное (по радиусу и глубине черпания) положение экскаватора на первичном ходе; D_{max} — максимально возможный контур отвала первич-

ного хода, размещаемый без освобождения дополнительной отвальной емкости; E_0 — контур дополнительной отвальной емкости, необходимой для размещения этого отвала. Его положение вычисляется посредством продолжения линии откоса отвала D_{max} до положения B_0 , при котором сумма площадей контуров D_{max} и E_0 равна требующейся площади отвала первичного хода. Точка B_0 — это нижняя бровка вторичного забоя S_r , обеспечивающего необходимую дополнительную емкость E_0 .

Если Y -координата B_0 больше или равна Y -координате верхней бровки первичного забоя (точнее – Y -координате нижней точки поверхности отвала до верхней бровки первичного забоя – см. рис.2), то производится моделирование технологии с разрядкой отвала, иначе – технологии с перекрестным забоем. Если невозможно определить W (параметров экскаватора недостаточно для выемки первичного забоя), D_{max} (положение поверхности отвала не позволяет разместить породу) или E_0 (положение основания не позволяет освободить дополнительную емкость), то это – случай 0 – отказ от расчета.

Для технологии с разрядкой отвала оптимальное положение нижней бровки забоя вторичного хода B_i определяется условием обеспечения необходимой отвальной емкости по мере пошагового уменьшения Y — координаты нижней бровки забоя (с соответствующим уменьшением X -координаты нижней бровки забоя). Понижение дна забоя вторичного хода обеспечивает более полное использование емкости, создаваемой на вторичном ходе, посредством размещения верхней бровки отвала первичного хода как можно выше на откосе забоя вторичного хода.

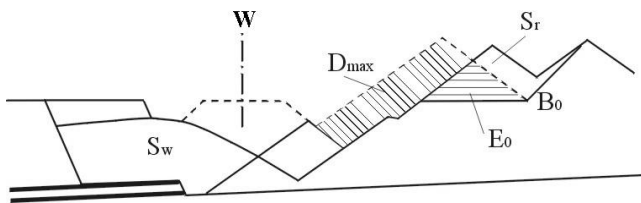


Рис. 2. Порядок определения положения забоя на вторичном ходе при максимально возможном положении экскаватора на первичном ходе

Применяется следующий алгоритм перебора с ветвлением:

$$v = f(B_i) \rightarrow \max, i = \{m, \dots, k\}, m \leq k \leq n - \text{случай 2,}$$

$$S = f(B_i) \rightarrow \min, i = \{0, \dots, n\} - \text{случай 1,}$$

где n – минимально возможный шаг (уровень) понижения забоя вторичного хода (по различным природным, техническим или технологическим факторам), m – первый шаг, на котором выполняется условия случая 2 (возможна выемка и укладка породы забоя вторичного хода), k – последний шаг, на котором выполняется условия случая 2, S – площадь забоя вторичного хода, v – скорость продвижения забоя вторичного хода.

При расчете технологии с перекрестным забоем, в отличие от технологии с разрядкой отвала, не производится ветвление при переборе. Применяется следующий алгоритм простого перебора:

- Y -координата предполагаемого дна забоя вторичного хода уменьшается на шаг Δ , начиная от Y -координаты верхней бровки первичного забоя (y_1) - Δ . На каждом шаге проверяется неравенство $(D_{\max i} + E_{0i}) - S_{w_i} > 0$, отражающее потенциальную возможность освобождения необходимой отвальной емкости на i -уровне понижения дна забоя вторичного хода. Заметим, что по мере уменьшения Y -координаты

дна забоя вторичного хода (и увеличения площади потенциальной свободной емкости) площадь забоя первичного хода уменьшается, что позволяет говорить о сходимости задачи;

- на найденном i -уровне Y -координаты дна забоя вторичного хода X -координата нижней бровки забоя увеличивается — от положения откоса первичного забоя на заданном уровне (xw) до максимума (пересечения продолжения откоса D_i с дном забоя вторичного хода — xm). Решением задачи является первое из тех, в которых возможно осуществить первичный ход.

$$\varepsilon = (D_i + E_{0ij}) - S_{w_i} > 0, j = (xw_{i+\Delta}, \dots, xm_i),$$

где ε – превышение свободной емкости, образующейся в результате осуществления вторичного хода, над площадью первичного забоя.

Результаты моделирования при экстенсивном варианте использования выработанного пространства представлены на рис. 3 (а – вариант (Б1) — с разрядкой отвала, б – вариант (Б2) — с перекрестным забоем)

При интенсивном варианте использования выработанного пространства первым осуществляется ближний к борту ход, затем – дальний. Возможны два подварианта реализации интенсивного подхода: (Б3) — с фиксированным уровнем установки экскаватора (синонимы: с маневрированием (отшагиванием, смещением) экскаватора на рабочей площадке, с выемкой забоя «широкой полосой») и (Б4) — с двухуровневой установкой экскаватора [2] (синоним: с предварительным освобождением (отбойкой от, обработкой) борта).

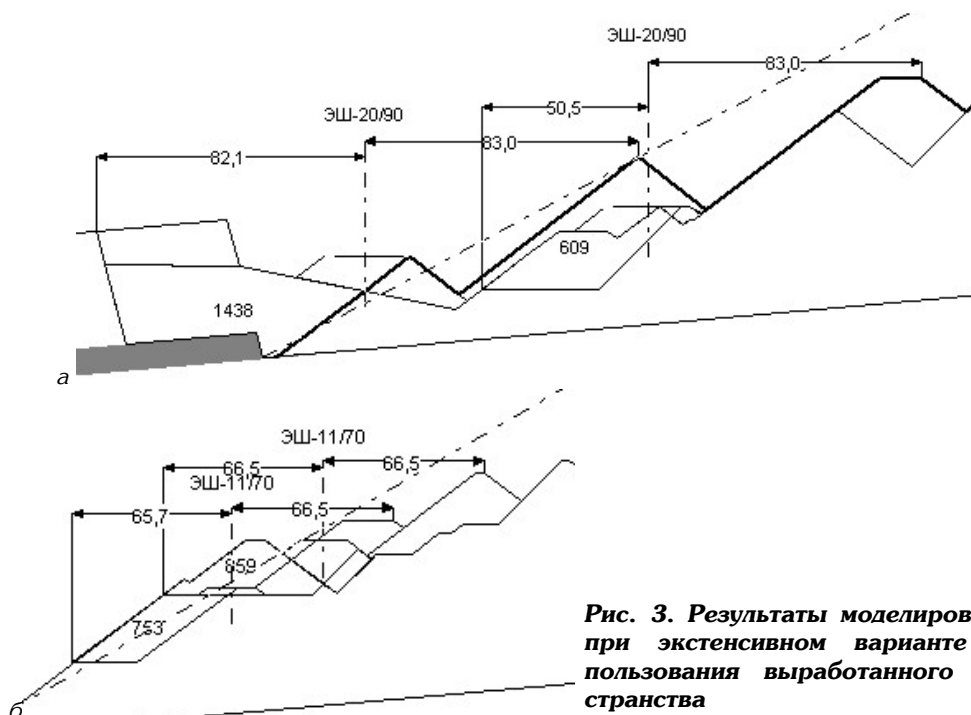


Рис. 3. Результаты моделирования при экстенсивном варианте использования выработанного пространства

При технологии с фиксированным уровнем осуществляется следующая последовательность вычислений:

- для каждого из возможного (в зависимости от величины забоя и технических характеристик экскаватора) Y — уровня определяются две X — координаты. Первая соответствует максимально возможной удаленности от края забоя (верхней бровки уступа), вторая — минимально возможному смещению, позволяющему уложить породу в отвал веерной формы. Если первую или вторую координату вычислить невозможно (свободной емкости нет), то данный уровень исключается из рассмотрения. При этом деление забоя на части не производится, так как на практике выемка забоя производится не с двух мест, а по мере постепенного отшагивания драглайна;

- из всех возможных Y -уровней выбирается тот, скорость продвижения забоя на котором максимальна

$v_i \rightarrow \max, i=\{m, \dots, n\}, m \leq n$ — случай 2,
 $=\emptyset$ — случай 0.

где m — минимально возможный уровень установки экскаватора по техническим параметрам и наличию свободной емкости, n — максимально возможный уровень установки экскаватора по техническим параметрам и наличию свободной емкости, v — скорость продвижения забоя.

При технологии с двухуровневой установкой решается задача пошагового поиска места разделения исходного забоя на два. При этом порода ближнего к борту забоя (первичного) укладывается на поверхность дальнего от борта забоя (вторичного) и затем частично повторно переваливается.

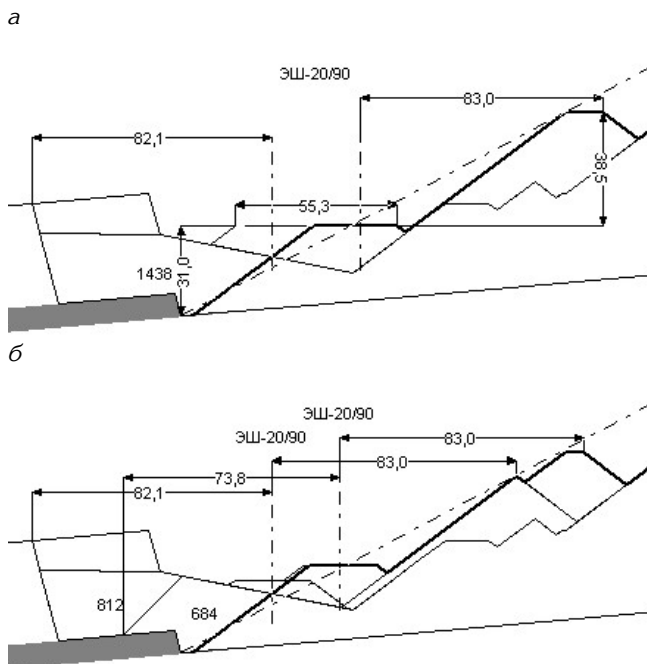


Рис. 4. Результаты моделирования при интенсивном варианте использования выработанного пространства

Применяется следующий алгоритм перебора с ветвлением:

$/v1-v2/ \rightarrow \min, i=\{m,\dots,k\}, m \geq k \geq n$ - случай 2,

$S1 \rightarrow \max, i=\{1,\dots,n\}$ - случай 1,

где **1** – максимально возможное положение нижней бровки первичного забоя (отстоящее на 1 шаг перебора от дальнего-нижнего края исходного забоя), **n** – минимально возможное положение нижней бровки первичного забоя, **m** – первый шаг, на котором выполняется условия случая 2 (возможна выемка и укладка пород первичного и вторичного забоев), **k** – последний шаг, на котором выполняется условия случая 2, **v1** – вычисленная скорость продвижения первичного забоя при установке экскаватора на максимальных параметрах, **v2** – вычисленная скорость продвижения вторичного забоя при установке экскава-

тора на максимальных параметрах, **S1** – площадь первичного забоя, выемка и укладка которого возможна.

Результаты моделирования с интенсивным использованием выработанного пространства представлены на рис.4 (а – вариант (Б3) — с маневрированием, б – вариант (Б4) — с двухуровневой установкой). Следует обратить внимание на то, что результаты расчета по вариантам (Б1), (Б3) и (Б4) получены для одного и того же положения и площади вскрышного забоя.

Применение обратных постановок задач численного моделирования

Задача (В) является обратной по отношению к задаче (Б1) – вычислению оптимального размещения забоев при разрядке отвала. Суть обратных задач заключается в том, что целью задачи является не поиск некоторого оптимального решения на основании заданных исходных условий (прямая задача), а прогнозирование возможных исходных условий (положения экскаваторов или забоев) на основании анализа решения множества прямых задач. Задача (В) заключается в том, чтобы достигнуть минимальной разности скоростей продвижения забоев на смежных ходах. При этом допускается отклонение установки экскаватора на первичном ходе от оптимального (по максимуму скорости продвижения). Это дает возможность

минимизировать простои при параллельной работе двух экскаваторов.

$$/v1_i - v2_i/ \rightarrow \min, i=\{m, \dots, k\},$$

$v1$ – максимальная скорость подвигания забоя на первичном ходе при установке экскаватора на уровне Y_i , $v2$ – максимальная скорость подвигания забоя на вторичном ходе, m – верхняя Y -координата установки экскаватора на первичном ходе, при которой решается задача (Б1), n – нижняя Y -координата экскаватора на первичном ходе, при которой решается задача (Б1).

Обратные постановки задач численного математического моделирования можно использовать при решении задач в технологических ситуациях, отличных от типовых (проектных) ситуаций, в том числе:

1) Моделирование схем вскрытия вышележащих транспортных горизонтов при комбинированных системах разработки на наклонных пластах. Суть её заключается в том, что при достижении максимально возможной (по экономическим или иным критериям) глубины зоны бестранспортной вскрыши существует резерв емкости, который позволяет вскрыть дополнительный транспортный горизонт с помощью драглайна – совместно с перевалкой вскрыши с бестранспортного горизонта.

2) Моделирование комбинированной системы разработки с оставлением надпластового целика с последующим перемещением его в отвал с помощью автосамосвалов. Суть системы разработки – по бестранспортной технологии вскрывается и добывается большая часть пласта, а затем — на автотранспорт вскрывается и добывается оставшаяся часть пласта в целике. При этом в процессе укладки бестранспортной вскрыши должны быть обеспечены безопасные условия

работы экскаваторно-самосвального комплекса при разработке целика.

3) Моделирование комбинированной системы разработки с размещением дополнительной автовскрыши в контур бестранспортного забоя. Суть системы разработки состоит в том, что при некоторой фиксированной бестранспортной технологии по различным причинам (например, непостоянная мощность вскрыши междупластья) может быть резерв емкости внутреннего отвала. Этот резерв емкости можно использовать посредством организации промежуточного складирования транспортной вскрыши поверх бестранспортной и последующей одновременной их перевалкой во внутренний отвал. Очевидно, что данная технология способна существенно сократить расстояние транспортирования.

4) Моделирование бестранспортной системы разработки, максимально использующей имеющуюся отвальную емкость, то есть вычисление ширины добычной заходки, покрывающую вскрышу которой можно перевалить без изменения технологии. Эта ситуация является обратной по целевым предпочтениям тем, что приведены в постановках 1 – 3. Она возможна или в переходный период, или при проектировании системы разработки для междупластья с достаточно устойчивыми (средними) высотными характеристиками по фронту.

5) Моделирование бестранспортной системы разработки, использующей продольное смещение вскрыши по фронту заходки. Подобные технологические решения применяются в условиях ограниченной емкости (например, в торцевых частях) и наличии емкости в центре; при непостоянной мощности вскрышных пород, предназначенных для перевалки драглайнами; а также

при диагональных системах разработки. Суть технологии состоит в том, что объем вскрыши делится на две части – часть вскрыши укладывается во внутренний отвал по обычной технологии, а часть – укладывается поверх развала бестранспортной вскрыши на соседнем сечении (блоке) по фронту заходки.

Помимо вышеперечисленных задач, с помощью численных методов возможно моделирование сложных (ступенчатых) технологических систем, рациональное размещение отдельных взаимосвязанных элементов для которых определяется независимыми пространственными или целевыми ограничениями. Моделирование подобных ситуаций осуществляется посредством последовательного решения комплекса прямых и обратных задач, например:

- при бестранспортной разработке свиты пластов;
- при комбинации транспортно-отвальной (цепной экскаватор) и бестранспортной технологии;
- для двух этапного формирования устойчивого положения отвала – на первом этапе допускается укладка породы в отвал под углом кратковременного устойчивого стояния, на втором – отвал выводится на установленный результирующий угол устойчивого стояния.

Предполагается, что вышеизложенные подходы можно будет адаптировать для перспективного планирования иных горных технологий – тех, в которых имеется определенная (формализуемая) зависимость между положениями забоя и отвала на поперечном сечении – бульдозерных, транспортно-отвальных и т.д.

Выводы

С помощью предложенного комплекса оптимизационных моделей, формализующих различные варианты

использования выработанного пространства и размещения смежных ходов, теоретически возможно формирование усложненной технологической схемы бестранспортной перевалки вскрыши с неограниченным количеством взаимозависимых ходов драглайна.

Вышеописанные математические модели использовались при создании информационно-программного комплекса Minescal (№ 2008614085 в Реестре программ для ЭВМ от 27.08.2008). Программный комплекс предназначен для проектирования бестранспортных систем разработки и используется в ряде сибирских проектных институтов. В состав комплекса, помимо вышеописанных моделей, входит подпрограмма моделирования БВР, подпрограммы моделирования перевалки рыхлой вскрыши и т.д. Помимо оптимизационных модулей реализованы имитационные модули – с формированием (и исправлением) параметров системы разработки «вручную».

Во всем мире условия ведения горных работ постоянно ухудшаются (в связи с углублением карьеров и выработкой «легких» запасов); сокращаются объемы вскрыши, пригодной для бестранспортной перевалки, что, помимо прочего, ведет к увеличению энергоемкости и себестоимости добычи угля. Кроме того, при этом увеличивается экологическая нагрузка на ландшафты из-за необходимости отторжения земель под внешние отвалы. Если с помощью вышеописанного программно-аналитического комплекса будет возможно формирование усложненных многоходовых технологий, сохраняющих объемы вскрышных пород, перемешаемых бестранспортным способом во внутренние отвалы на более длительный срок, то внедрение программного комплекса, а также

финансирование дальнейших исследований для модернизации программного обеспечения будет экономически целесообразно.

Автор выражает благодарность за исходную информацию, постановку задач и совместное моделирование

бестранспортных технологий руководству и сотрудникам ГОУ ВПО Кузбасский государственный технический университет, ЗАО «Гипроуголь», ОАО «Сибгипрошахт», ОАО УК «Кузбассразрезуголь» и ОАО УК «Южный Кузбасс».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Справочник*. Открытые горные работы /К.Н. Трубечкой, М.Г. Потапов, К.Е. Вилицкий, Н.Н. Мельников и др. – М.: Горное бюро, 1994.
2. *Щадов В.М.* Открытая разработка сложноструктурных угольных месторождений Восточной Сибири и Дальнего Востока – М.: Издательство МГУ, 2004.
3. *Каневская Р.Д.* Математическое моделирование гидродинамических процессов разработки месторождений углеводородов. – Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003.
4. *Шек В.М.* Объектно-ориентированное моделирование горнопромышленных систем. – М.: Издательство МГУ, 2000.
5. *Капутин Ю. Е.* Информационные технологии планирования горных работ (для горных инженеров) — СПб.: Недра, 2004.
6. *Кузнецов К.К., Ястребов А.И., Клепиков Л.Н. и др.* Системы разработки и транспорт на карьерах — М.:Недра, 1974.
7. *Мельников Н.В., Реентович Э.И., Симкин Б.А. и др.* Теория и практика открытых разработок — М.:Недра, 1979.
8. *Реентович Э.И.* Обоснование оптимальных решений для открытых разработок. — М.: Наука, 1982.
9. *Мордухович И.Л.* Исследование параметров рабочего процесса шагающих драглайнов. — М., Наука, 1984.
10. *Вилицкий К.Е.* Управление параметрами технологических процессов на открытых разработках. – М.: Недра, 1984.
11. *Michaud L.H., Calder P.N.* Computerized dragline mine planning //Proceedings of the first Canadian conference on computer applications in mineral industry. Quebec, 1986
12. *Щадов М.И.* Определение производительности экскаваторов при бестранспортной системе разработки. //Уголь, № 3, 1979.
13. *НИИОГР.* Типовые технологические схемы ведения горных работ на угольных разрезах. — М.:Недра, 1982.
14. *Вагоровский В.С.* Об эффективности полного использования рабочих параметров драглайнов. //Уголь, № 2, 1983.
15. *Проноза Вл.Г.* Проноза Вал.Г. Оптимизация места установки драглайна при переэкскавации одиночного навала. // Вопросы проектирования открытой разработки угольных месторождений, Кемерово, КузПИ, 1990.
16. *Назаров И.В.* Дискретный алгоритм определения оптимального положения драглайна при перевалке вскрышных пород //Горный информационно-аналитический бюллетень, № 2, 2003. **ПДАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Назаров И.В. — кандидат технических наук, доцент, руководитель отделения дистанционного зондирования Земли Научно-исследовательского института прикладной информатики и математической геофизики Балтийского федерального университета имени Иммануила, e-mail: INazarov@kantiana.ru.

