

И. В. Назаров

**ПРИМЕНЕНИЕ УПРАВЛЯЮЩИХ СТРУКТУР ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ
АДАПТИВНОГО ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА
МОДЕЛИРОВАНИЯ ПЕРЕВАЛКИ ВСКРЫШИ ДРАГЛАЙНАМИ**

114

Предложена сетевая структура формализации технологической схемы горных работ драглайнами. Для проведения математических вычислений под управлением структуры применены адаптивные алгоритмы, основанные на CASE-утверждениях и подружаемых библиотеках. Обосновано разделение расчетных модулей на ряд стадий: формирование таблиц исходных данных, формирование таблиц расчетных переменных, расчет и запись результирующих параметров и геометрии в таблицы

The network structure of formalization of the technological scheme of mining operations by dragline was offered. The adaptive algorithms based on CASE-statements and run-time libraries are applied to carrying out mathematical calculations under control of similar structure. Division of calculate modules into a number of stages – formation of tables of basic data, a formation of tables of operating variables, calculation and record of resultant parameters and geometry in tables was proved

Ключевые слова: программное обеспечение, драглайн.

Key words: software, dragline.

В современных российских угольных карьерах зачастую используются сложные (иногда уникальные) технологии ведения горных работ с помощью драглайнов. Условия ведения горных работ, в отличие от западных аналогов, постоянно изменяются по фронту и глубине. Учесть все особенности организации технологии перевалки вскрыши драглайнами в математических моделях (в особенности в их оптимизационной составляющей) невозможно.

Поэтому было принято решение о гибридном виде программного комплекса для моделирования перевалки вскрышных пород драглайнами, комплектации его из двух частей: оптимизационной и пост-процессинговой. Оптимизационный блок позволяет с помощью сочетания методов численного моделирования и аналитической геометрии формировать многоходовые технологии перевалки вскрыши (на поперечных сечениях) [1]. Постпроцессинговая стадия предназначена для адаптации результатов, полученных оптимизационным блоком, к нестандартным способам и условиям ведения горных работ, в том числе и с уточнением позиции элементов технологии с помощью «мышь» по



аналогии с [2]. Следовательно, в результате решения задачи на шаге оптимизации формируется не готовая технологическая схема, а некоторая управляющая структура. Состав структуры, вид и количество ее элементов заранее неизвестны или определяются расчетом на стадии оптимизации и/или изменяются лицом, принимающим решения, на стадии пост-процессинга.

В результате системного анализа понятийного аппарата, используемого в теории горного дела для описания технологий ведения горных работ (транспортных и бестранспортных), предложена следующая, основанная на теории грузопотоков [3], структура (фрейм) формализации технологической схемы (ТС), которая определяет порядок проведения вычислительных процедур на пост-процессинговой стадии $S = (\{R\}, \{D\}, \{G\}, \{M\})$, где R – операции; ТС – вершины ориентированного графа; D – дуги графа; G – отдельные грузопотоки ТС; M – технические средства; $G = (g, fv)$, где g – номер отдельного грузопотока, fv – вид грузопотока (вскрыша из развала или отвала, полезное ископаемое какого-то вида и так далее), $M = (m, et, em)$, где m – номер технического средства в ТС, et, em – номера-ссылки на тип, типоразмер технического средства в базе данных, $R = (n, g, r, mq, \{mp\}, k, \{wr\})$, где n – номер операции в ТС, r – имя операции, $mq, mp \in m$ – соответственно номера технических средств Q и P назначения, k – номер-ссылка на горную выработку в базе данных параметров элементов системы разработки, wr – прием осуществления r -й операции. Примеры использования сетевых и фреймовых моделей для планирования и управления горными работами описаны в [4–9].

Под отдельным грузопотоком G понимается подграф ТС, начинающийся исходной операцией, суть которой – отделение горной массы от развала (массива, навала), и заканчивающийся завершающей операцией (укладка горной массы в развал, отвал, склад, аккумулирующую емкость и т. д.). Отметим, что для технологий перевалки вскрыши, в отличие от транспортных технологий, ориентированный граф S имеет вырожденный характер – от одной до двух операций в множестве несвязанных G .

Технические средства в ТС разделены на потокоосуществляющие (Q -назначения) и потоковмещающие (P -назначения). Горные машины Q -назначения непосредственно выполняют горные работы, то есть изменяют состояние или местоположение разрабатываемой горной массы, при этом их производительность оценивается в единицах интенсивности грузопотока (метры кубические в час, тонны в смену). Это – драглайны при перевалке вскрыши, мехлопаты на выемочно-погрузочных работах, автосамосвалы при транспортировании горной массы и так далее. К техническим средствам P -назначения относятся те машины, сооружения или материалы, применение которых существенно влияет на интенсивность осуществления операции, без которых ее выполнение невозможно. Технические средства P -назначения определяют чаще всего потенциально возможные пределы интенсивности (пропускной способности) выполнения операции (ВВ, дорожное покрытие, бульдозер на автоотвале и т. д.).



Под способом выполнения операции понимается порядок воздействия технических средств на горную массу, взаимодействия их между собой и горной выработкой. Для обеспечения необходимой точности модели (на основе обобщения практического опыта) достаточно классификации способов выполнения операций по ограниченному множеству признаков областей (свойств). Свойство операции, в свою очередь, имеет ограниченное множество разновидностей его реализации. Пара «свойство – разновидность» определяет прием выполнения операции wr , а множество приемов – порядок расчета. Пример разновидностей реализации – приемов – в таблице и на рисунке (операция – укладка породы в отвал: D_{max} – контур максимального возможного навала, Sr – контур забоя, So – контур навала). В данном случае значение реализаций выполнения свойств «положение нижней бровки отвала» и «модель верха отвала» определяет различные пределы и направление перебора при поиске расчетного геометрического положения отсыпаемого отвала ($So-Sr \rightarrow \min$) при одинаковом положении контура забоя и месте установки экскаватора.

**Порядок расчета положения поверхности навала
при различных способах формирования отвала**

Положение нижней бровки	Модель верха	
	Точка	Прямая линия
Произвольное	Пользователь задает фиксированное положение нижней бровки отвала. D_{max} определяется исходя из высоты и радиуса разгрузки экскаватора. Перебор по линии, соединяющей эти точки (рис. 1, <i>a</i>).	Пользователь задает фиксированное положение нижней бровки отвала. D_{max} определяется исходя из высоты и радиуса разгрузки экскаватора. Перебор по вертикали от максимального до нулевого положения (рис. 1, <i>b</i>).
Минимальное	Положение нижней бровки определяется исходя из величины безопасной бермы между ярусами в зависимости от высоты отвала. Перебор по вертикали от положения верхней бровки забоя до максимально возможного положения (рис. 1, <i>c</i>).	Положение нижней бровки определяется, исходя из величины безопасной бермы между ярусами в зависимости от высоты отвала. Перебор по вертикали от верхней бровки забоя до максимального положения (рис. 1, <i>d</i>).
Максимальное	Перебор, начиная от максимально возможного положения, по вертикали, проходящей через него. Нижняя бровка находится на пересечении треугольника с существующим отвалом (рис. 1, <i>e</i>).	Положение D_{max} определяется исходя из высоты и радиуса черпания экскаватора. Перебор по горизонтали, начиная от минимально возможного положения нижней бровки (рис. 1, <i>f</i>). Если линия верха сходится в точку (на максимальных параметрах), то расчет продолжается с точечной моделью верха, то есть от максимального положения вниз (рис. 1, <i>e</i>).

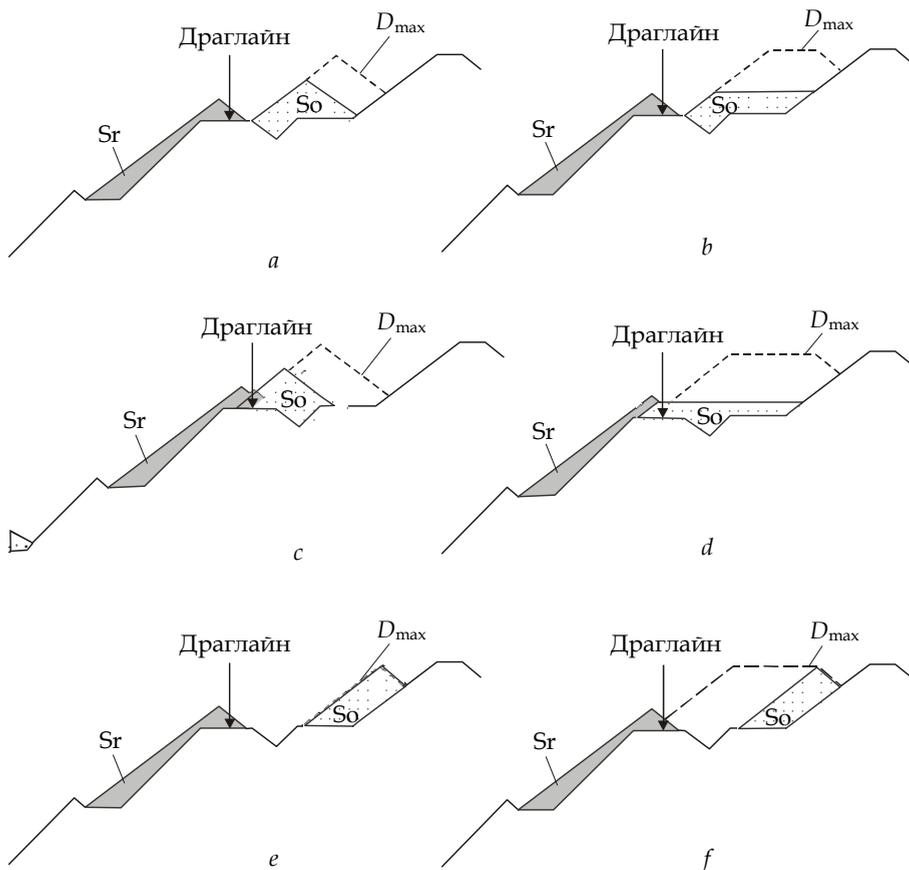


Рис. Приемы размещения вскрыши в навал

Для организации вычислительного процесса под управлением ТС применяются алгоритмы, основанные на CASE-утверждениях. Пара et и r определяют подгружаемый (run-time) расчетный модуль (dll) ($r = Oper$, $et = Qt$ в алгоритме ниже). Подобный подход также был применен в [10].

Процедура запуска подгружаемых расчетных модулей

```
// запуск подпрограммы
procedureTmcForm.Go(constStage:string; constOper,Qt,Op_Id: Word);
begin
// переключатель наращивается
ifIsGo and (not (Oper=2)) then Exit;
caseOper of
1: if Control(1) then Mcl(Stage,Op_Id) // БВП
  elseifException.Create('Программа расчета взрывания не
подключена');
2: if Control(2) then
  caseQt of
```



```
3: Mc23(Stage,Op_Id); // черпание драглайном
end
else raise Exception. Create('Программа расчета выемки драглайном
не подключена');
3: if Control(3) then
caseQt of
3: Mc33(Stage,Op_Id); // укладка драглайном
end
else raise Exception. Create('Программа расчета отсыпки драглай-
ном не подключена');
7: if Control(7) then Mc7(Stage,Op_Id) // подготовка БВР
else raise Exception. Create('Программа расчета подготовки взрыва
не подключена');
8: if Control(8) then Mc8(Stage,Op_Id) // автоотвал у борта
else raise Exception. Create('Программа расчета автоотвала у бор-
та не подключена');
9: if Control(9) then Mc9(Stage,Op_Id) // конструктор
else raise Exception. Create('Программа конструирования б. т.
схемы не подключена');
10: if Control(10) then Mc10(Stage,Op_Id) // простой повтор
else raise Exception. Create('Программа повтора не подключена');
11: if Control(11) then Mc11(Stage,Op_Id) // формирование заходки
else raise Exception. Create('Программа формирования заходки не
подключена'); end;
end;
```

Для каждого грузопотока лицу, принимающему решение, предоставляется возможность изменения значений приемов в диалоговом режиме, а при выборе соответствующего приема, например «Х-координата драглайна произвольная», — и позиционирования элементов технологии с помощью мыши.

Параметры элементов системы разработки формируются в зависимости от k , параметры технических средств — в зависимости от et и em . Для хранения и редактирования параметров элементов системы разработки (уступы, отвалы, траншеи и так далее) и средств производства (оборудования, сооружений и материалов) разработаны специализированные, внешние по отношению к программе моделирования, диалоговые системы управления базами данных (СУБД) [11]. Доступ из программы моделирования к этим внешним СУБД осуществляется посредством клиент-серверных интерфейсов.

Для того чтобы обеспечить единственный запрос интерфейса для доступа к одному параметру элемента системы разработки или оборудования, был создан внутренний табличный кэш программы (на базе компонента TClientDataSet). В его состав вошли следующие таблицы данных, формируемые по интерфейсным запросам:

- параметры элементов системы разработки;
- характеристики средств производства.

Кроме того, для внутрипрограммных нужд создаются следующие таблицы данных:

- расчетные переменные, значение которых необходимо передавать между отдельными расчетными модулями, по операциям и грузопотокам, например коэффициенты переэкскавации и сброса;



– управляющие переменные, определяющие особенности выполнения операций в отдельном грузопотоке, например степень обводненности или вид забоя по условию пылегазообразования;

– положение геометрии: технологических линий и контуров на сечении (линия массива: бровка уступа и дно, линия верха развала, линия верха отвала, контур развала и т. д.).

Состав таблиц исходных данных и переменных не постоянен, он определяется структурой ТС. Простой пример – три варианта бестранспортной технологии, моделируемых в одной управляющей среде (без учета особенностей, обусловленных разнообразием приемов выполнения операций): перевалка взорванных пород (БВР + перевалка), перевалка рыхлых пород (массив + перевалка), разрядка отвала (только перевалка) имеют существенно отличающийся набор внутренних переменных и исходных данных.

Так как структура таблиц должна быть сформирована статически (перед началом цикла вычислений), было принято решение разделить расчетные модули на несколько стадий (константа **Stage** в алгоритме, приведенном выше):

– формирование таблиц исходных данных: параметров элементов системы разработки, средств производства и исходного положения геометрии. Отличительной особенностью хранения этих наборов данных является то, что в программе возможна независимая (от СУБД) корректировка значений параметров в таблицах;

– формирование таблиц расчетных и управляющих переменных с умалчиваемыми или заданными значениями;

– непосредственно расчет и запись результирующих параметров и геометрии в таблицы.

На всех стадиях вызова расчетных модулей информационно-вычислительный процесс имеет адаптивный характер и управляется совокупностью приемов $\{wr\}$.

Выводы

Опыт разработки, поддержки и эксплуатации программного комплекса Minescal, предназначенного для моделирования буровзрывных работ и перевалки вскрыши драглайнами, показал следующие преимущества вышеизложенного адаптивного подхода к организации вычислительного процесса:

– возможность моделирования усложненных многоходовых технологий с неизвестным заранее числом ходов драглайна с последующей модификацией стандартных решений для специфических условий;

– возможность независимой модификации оптимизационной и имитационной составляющей программы;

– возможность добавления в программный комплекс новых расчетных библиотек для имитационного моделирования дополнительных технологий (бульдозерной, автотранспортной),



— возможность актуализации отдельных имитационных моделей локальным исправлением или добавлением новых способов осуществления технологических операций, в том числе с использованием дополнительных исходных данных или управляющих переменных.

Список литературы

1. Назаров И. В. Применение численных методов для математического моделирования технологий работы драглайнов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2012. №4. С. 257–268.

2. Michaud L. H., Calder P. N. Computerized dragline mine planning // Proceeding soft the first Canadian conference on computer applications in mineral industry. Quebec, 1986. P. 353–357.

3. Анистратов Ю. И. Проектирование технологических потоков на карьерах // Совершенствование техники и технологии открытых горных работ. М., 1978.

4. Цой С., Цхай С. М., Мастяева Е. И. Синтез оптимальных сетей в системе управления горными предприятиями. Алма-Ата, 1974.

5. Петрович С. И. Математические модели в оперативном планировании развития горных работ на шахтах. Алма-Ата, 1986.

6. Штеле В. И. Имитационное моделирование развития подземных горных работ. Новосибирск, 1984.

7. Тайлаков О. В., Конох В. А. Имитационная система роботизированных технологий подземных работ // Физико-технические проблемы разработки месторождений полезных ископаемых. 1995. №2. С. 41–49.

8. Табакман И. Б., Турецкий А. З. Инструментальная система создания программных средств оптимизации горных работ на карьерах // Оптимизация горных работ и фрагменты САПР. Новосибирск, 1990. С. 7–12.

9. Анистратов Ю. И. Технологические потоки на карьерах (Энергетическая теория открытых горных работ). М., 2005.

10. Рагозин С. Л., Юровский Б. Ю., Плющев С. А. Алгоритм прогнозирования параметров разрезов, технологических схем ведения горных работ и комплексов горно-транспортного оборудования // Основные процессы открытых горных разработок : науч. сообщ. ИГД им. А. А. Скочинского. 1987.

11. Назаров И. В. Организация базы данных по средствам производства в системе автоматизированного проектирования и планирования технологического комплекса горных предприятий / Ин-т горн. дела СО РАН. Новосибирск. 1992. 12 с. Деп. в ВИНТИ 06.04.92, №1161-В92.

Об авторе

Игорь Владимирович Назаров — канд. техн. наук, доц., Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград.

E-mail: INazarov@kantiana.ru

About the author

Dr Igor Nazarov — Ass. Prof., I. Kant Baltic Federal University, Kaliningrad.

E-mail: INazarov@kantiana.ru