

УДК 622.142.5

Т.Б. Рогова, С.В. Шакlein

ЯЧЕИСТАЯ ЦИФРОВАЯ МОДЕЛЬ УГОЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

В настоящее время наиболее актуальным направлением совершенствования маркшейдерского обеспечения планирования горных работ является разработка моделей отображения геологического состояния недр, ориентированных на компьютерные технологии их построения, сопровождения и использования [1, 2].

Наиболее применимыми в условиях крутого и круто-наклонного складчатого залегания угольных пластов, в том числе и осложненных дизьюнктивными дислокациями, являются модели – блок-диаграммы [3], сущность которых состоит в отображении формы залегания пласта с помощью системы параллельных равноудаленных вертикальных сечений (профилей). Именно этот класс моделей традиционно используется на угольных разрезах.

Главная проблема при построении такой модели - выбор технологии построения сечения свиты пластов по равноудаленным профилям с использованием геологической информации, содержащейся на неравномерно расположенных и непараллельных друг другу геологических разрезах. Для условий пластов, имеющих пологое и наклонное залегание, построение профилей в любом сечении месторождения не представляет трудностей и осуществляется на основе использования гипсометрических планов пласта. В условиях складчатых, высокодислоцированных месторождений построение гипсометрических планов геологоразведочными организациями не выполняется, и данный подход, к сожалению, не может быть применен.

Преимущественно линейный и выдержаный характер осей складчатых структур, отмечаемый на большинстве

угольных месторождений Кузбасса, позволяет предложить следующий алгоритм построение профилей.

скского разреза предлагается осуществлять с помощью системы характерных точек, находящихся на пересечении заранее

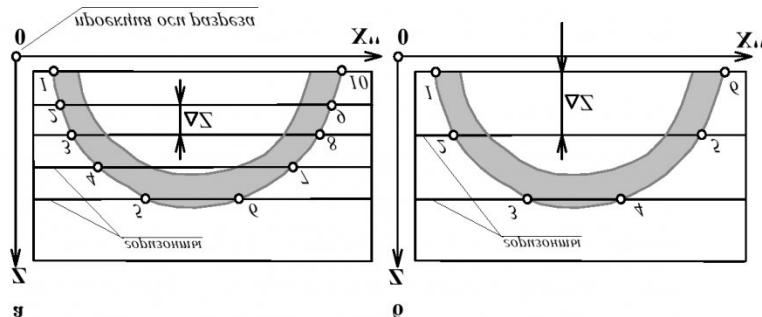


Рис. 1. Отображение положения пласта на разрезе с помощью характерных точек

Пусть имеется серия неравномерно расположенных и непараллельных друг другу геологических разрезов. Занесение сведений о положении каждого пласта в плоскости геологиче-

зования горизонтов, и кровли (почвы) пласта. Для условий рис. 1а такими точками будут точки 1 - 10, количество и расположение которых определяется величиной сечения гори-

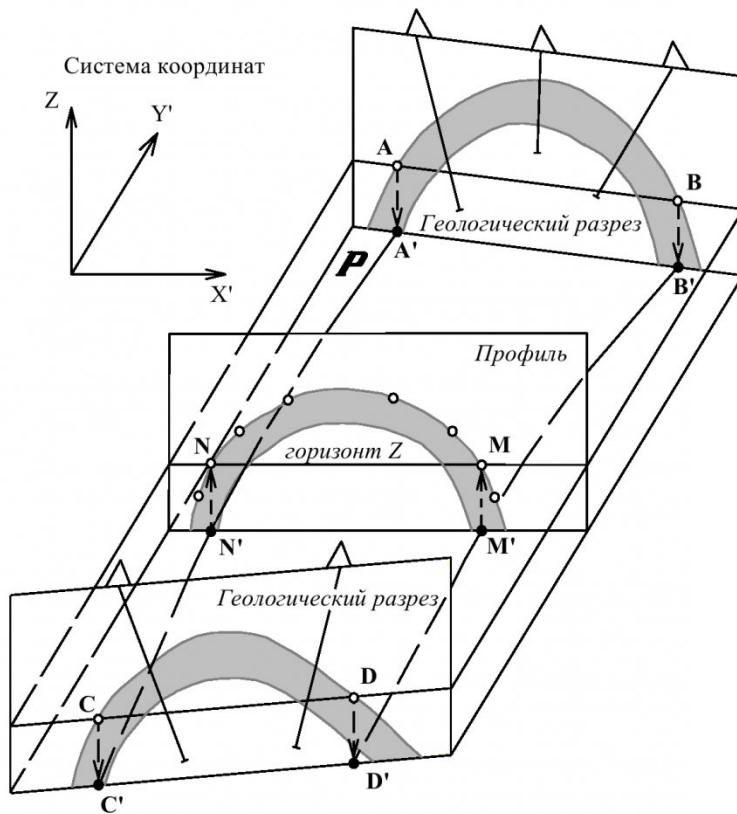


Рис. 2. Построение параллельных друг другу профилей по системе непараллельных, неравномерно расположенных разведочных линий

зонтов ΔZ .

Естественно, что принятая величина сечения ΔZ должна обеспечивать необходимую точность восстановления пласта с помощью заранее оговоренного метода интерполяции. Используя условную систему координат, ось Z которой совпадает с осью высотных отметок, а ось X' - с направлением геологического разреза, можно закоординировать каждую характерную точку и занести ее в память компьютера.

Собственно построение параллельных друг другу профилей может быть осуществлено следующим образом. Пусть имеется система непараллельных, неравномерно расположенных геологических разрезов, два из которых показаны на рис. 2. Для производства расчетов введем условную ортогональную систему координат $X'Y'Z$. Ось Z этой системы совпадает с вертикалью, ось Y' с осью разреза, а ось X' - с направлением отстраиваемых профильных линий.

Для заданного горизонта Z определим положение соответствующих ему характерных точек А, С ("левое" крыло складки), В, Д ("правое" крыло складки). Спроектируем эти точки на плоскость проекции Р и получим на ней положение точек А', В', С' и Д'. Плоские координаты Y' и X' этих точек несложно определить, зная дирекционные углы линий геологических разрезов и условные координаты X'' (рис. 1) положения точек на них.

Используя одноименные точки соседних разведочных линий (под которыми будем понимать точки, принадлежащие одним и тем же структурным элементам, соответственно, точки А, С и В, Д) можно осуществить построение проекции изогипсы пласта рассматриваемого горизонта Z . На практике, когда для построения изогипсы будет использовано несколько соседних разрезов, изогипса будет описываться уже некото-

рой кривой. Учитывая преимущественно линейный и выдержаный характер осей большинства складок и, соответственно, изогипс, создается возможность автоматизации процесса построения изогипс на основе использования некоторого метода интерполяции.

Для построения пласта по заданному профилю необходимо осуществить действия, обратные описанным (рис. 2). Во-первых, должно быть задано положение профиля. Точки М' и N' пересечения линии этого профиля (на плоскости проекции Р) с изогипсами А'С' и В'Д' - проекции точек М и Н пласта рассматриваемого горизонта.

Аналогичным образом, используя данные по иным горизонтам, определяются характерные точки пласта в профильном сечении. Объединение этих точек на основе нелинейного интерполяции приводит к получению положение пласта в рассматриваемом сечении. Таким образом, в результате описанных выше действий будет сформирована горно-геометрическая модель разреза,

состоящая из систем равноотстоящих и параллельных вертикальных и горизонтальных сечений (рис. 3).

При данном подходе к моделированию, все пространство недр разбивается на систему отдельных "ячеек", каждая из граней которых описывается векторной графикой, обеспечивающей возможность любых аналитических преобразований и вычислений. Поэтому предлагаемую модель можно назвать ячеистой моделью месторождения.

Практическая реализация данного подхода требует решения следующих задач:

- выбор оптимального метода нелинейной интерполяции отметок пласта;
- определение условий применения методов интерполяции при построении изогипс пласта;
- определение оптимального сечения ΔZ между горизонтами, для которых должны быть построены погоризонтные планы;
- определение условий автоматизированного построения изогипс пласта в пределах горизонта;

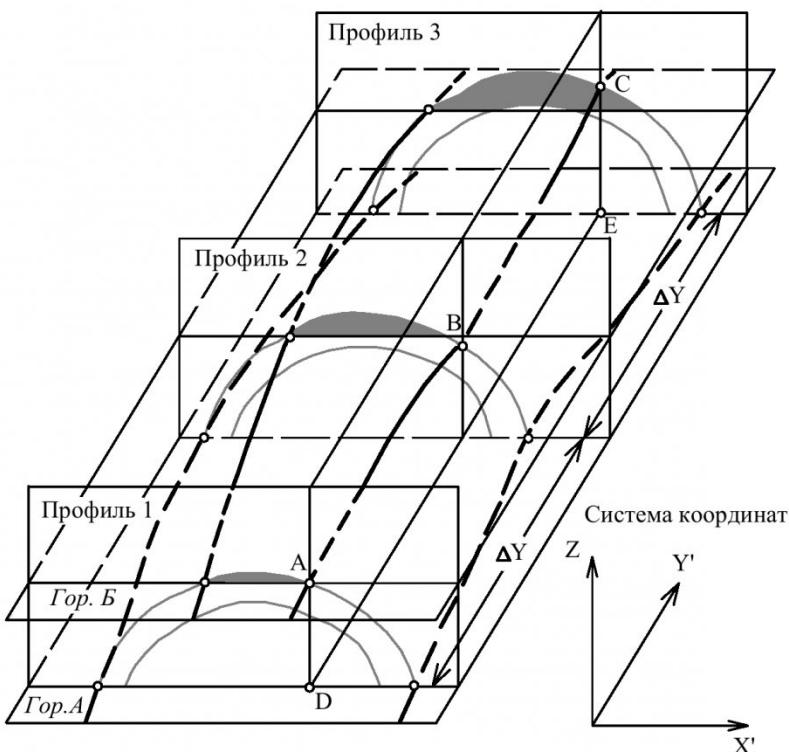


Рис. 3. Ячеистая модель месторождения

- определение оптимального расстояния ΔY между вертикальными сечениями.

Решение каждой задачи является необходимым элементом автоматизированной системы маркшейдерского обеспечения планирования развития горных работ.

Исследованиями [4], проведеными на материалах разрезов "Бачатского" и "Краснобродского", доказана равноточность сплайн-интерполяции и эвристических методов построений, поэтому в качестве метода интерполирования при построении ячеистой модели предлагается использовать кубическую сплайн-функцию.

Для обеспечения выполнения интерполирования в пределах плоскости проекции необходимо введение условной системы координат $Y'OX'$ (рис. 4). В данной системе, для каждой точки выхода пласта на горизонт, можно определить координаты Y' и X' и, используя их, рассчитать ожидаемое положение изогипсы методом сплайн-интерполяции.

Такой подход значительно упрощает процесс сопровождения погоризонтных планов на стадии эксплуатации. Достаточно откорректировать (на основании результатов горно-эксплуатационных работ) положение даже только одной точки изогипсы, как автоматически будет осуществлен полный перерасчет всей изогипсы. Более того, не представляет никакого труда ввести в число точек новую, например точку А на рис. 4 (возникновение которой может быть связано как с результатом горных, так и дополнительных геологоразведочных работ) и осуществить перерасчет положения изогипсы уже с ее учетом.

Сущность задачи определения оптимальной величины сечения между погоризонтными планами ΔZ состоит в отыскании такой величины вертикального расстояния между равномерно размещенными горизон-

тами, при котором описание пласта по точкам пересечения кровли (почвы) пласта этими горизонтами (точки 1, 2 и т.д. на рис. 1), выполненное по координатам Z и X' этих точек с помощью сплайн-интерполяции, обеспечивает необходимую его точность. Естественно, что величина расстояния между горизонтами определяет количество характеризующих пласт точек (рис. 1 а, б), число которых, в сочетании со сложностью условий геологического залегания пласта, определяет точность его восстановления в недрах.

Таким образом, решение задачи сводится к установлению

между равномерно размещенными горизонтами ΔZ .

Собственно методика исследования должна состоять в оценке погрешности восстановления положения пласта по серии профильных и разведочных линий при различной величине ΔZ . Для этого необходимо:

- выполнить координирование точек пласта по этим линиям при различных сечениях, начиная с априорно незначимого (например, $\Delta Z = 5$ м);

- осуществить оценку погрешности восстановления пласта при заданном сечении ΔZ ;

- повторить координирование точек и оценку погрешности при различных, постоянно увеличиваемых сечениях ΔZ ;

- построить график зависимости величины погрешности от значения ΔZ (рис. 5);

- провести обработку графика и построить зависимость максимальных погрешностей восстановления пласта от величины расстояния между горизонтами (пунктирная линия на рис. 5);

- по заданному допустимому значению погрешности установить оптимальное расстояние между горизонтами (точка А на рис. 5).

При установлении кривой зависимости следует обратить внимание на то, что ее построение должно осуществляться с некоторой заданной вероятностью. Такой подход допускает, что часть экспериментальных точек может находиться выше положения кривой (пунктирная линия на рис. 5) описывающей

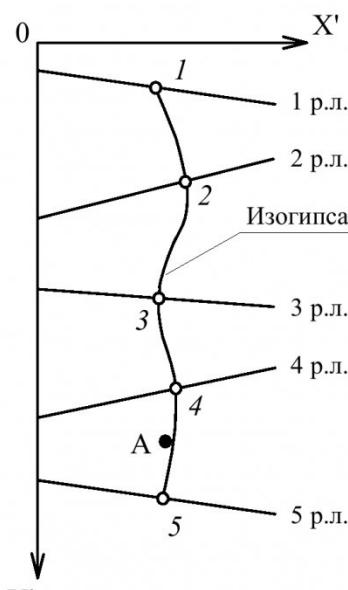


Рис. 4. Построение изогипсы методом сплайн-интерполяции

зависимости между погрешностью восстановления положения пласта и величиной принятого вертикального расстояния

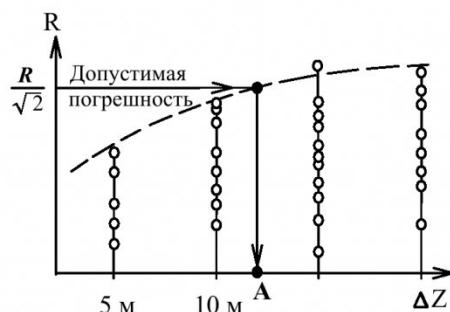


Рис. 5. Определение оптимального расстояния между погоризонтными планами

зависимость максимальных погрешностей восстановления пласта от величины расстояния между горизонтами планами. Количество таких точек, при уровне вероятности 0,95 не должно превышать 5% от их общего количества.

Для определения расстояния между вертикальными сечениями (ΔY) предлагается использовать имеющуюся систему профильных линий разреза, где намечают несколько линий, параллельных оси разреза, например линия ED на рис. 3. По каждой такой линии должны быть оценены ожидаемые погрешности восстановления положения пласта методом сплайн-интерполяции между точкам А, В, С и т. д. (рис. 3) расположенным на профильных линиях. Имея значения полученных погрешностей соответствующих различным расстояниям между профильными линиями, отстраивается зависимость значений погрешностей от расстояния между профилями. Используя такую зависимость и располагая значением допустимой

погрешности, можно, как и в предыдущем случае (рис. 5), получить оценку оптимального расстояния между профильными линиями.

Выбор уровня допустимой погрешности описания пласта представляет собой задачу, выходящую за рамки проведенных исследований и имеющую самостоятельное значение. Тем не менее, можно попытаться ее решить, исходя из следующих соображений. Как известно, все инженерно-экономические вопросы решаются в горной практике со средней погрешностью порядка 10%. Одним из главных характеристик плана является объем извлекаемого полезного ископаемого, точность которого в условиях разреза определяется, прежде всего, мощностью пласта. Если оценить допустимую среднюю погрешность R мощности в 5 %, то, поскольку мощность определяется по разности отметок почвы и кровли пласта, средняя погрешность положения почвы (кровли) пласта должна составить $R / \sqrt{2}$, на

графике (рис. 5) ей соответствует сечение ΔZ в точке А. Таким же образом может быть определено оптимальное расстояние между профилями.

Основные результаты выполненной работы состоят в том, что:

- предложена ячеистая цифровая модель месторождения, в наибольшей степени соответствующая геологическим условиям сложнодислоцированных угольных пластов;

- предложена технология автоматизированного построения ячеистой цифровой модели по данным геологических разрезов и ее последующего сопровождения на основе использования сплайн-интерполяции;

- установлены зависимости погрешности восстановления пласта от расстояния между погоризонтными планами и расстояния между профилями, которые позволяют определять оптимальные размеры ячейки цифровой модели для условий угольного разреза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алферов Ф.Ю. Состояние и тенденции компьютеризации геолого-маркшейдерского обеспечения горных работ / Ф.Ю.Алферов, П.В.Васильев, Е.А.Кинзерская // Маркшейдерский вестник. - 1996.- № 1. - С.22-30.
2. Коваленко О.Д. Автоматизированные системы геолого-маркшейдерского обеспечения горных работ / О.Д.Коваленко, И.Г.Лаврентьев, А.А.Парфенова // Маркшейдерский вестник.-1995.- № 2. - С. 18-23.
3. Шакlein С.В. Построение гипсометрических планов угольных пластов: Учебное пособие / Кузбасский политехнический институт. - Кемерово, 1992. - 58с.
4. Боев А.И. О точности сплайн-интерполяции отметок угольного пласта в межскважинном пространстве: Математические методы исследования в геологии / А.И.Боев, С.М.Григорьев, С.В.Шакlein // Экспресс-информация / ВИЭМС, 1980. - вып. 6. - С. 12 - 13.

□ Авторы статьи:

Рогова
Тамара Борисовна
-канд.техн.наук, доц. каф. маркшейдерского дела и геодезии

Шакlein
Сергей Васильевич
- канд.техн.наук, начальник отдела
ХК "Соколовская"