УДК 622.1

В.А.Голованов
Санкт-Петербургский горный ин-т, Россия
А.И.Науменко
ВНИМИ, Санкт-Петербург, Россия

ТВЕРДОТЕЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В МАРКШЕЙДЕРИИ

Твердотельное моделирование горных выработок позволяет решать многочисленные горно-геологические задачи с помощью мощного математического аппарата с применением ЭВМ.

The simulation of mountain developments with the helping of solid-state modelling allows to decide numerous mining-geological problems with the helping of of high-power mathematical means with computer application.

Все существующие на сегодня способы построения моделей каких-либо тел основаны на создании топографических поверхностей. При заданных плановых координатах топографической поверхности может соответствовать лишь одна отметка – координата *Z*. Топографические поверхности имеют ряд ограничений: не могут быть произвольными, вертикально перегибаться, задираться. До последнего времени не было средств объемного математического моделирования камер, так как для этого не существовало математического аппарата и программного обеспечения, связанного с построением тел, образованных натяжением произвольной поверхности на каркас в пространстве. Можно отметить попытки создания цифровых моделей, на которых объекты изображались изолиниями и которые можно также отнести к топографическим поверхностям.

Если мы имеем дело с месторождениями, осложненными тектоническими нарушениями или имеющими сложные формы залегания, построение их моделей не может быть выполнено по принципу топографической поверхности. Тем более это невозможно при моделировании горных выработок, в том числе и очистных. В данном случае нам нужны математические методы, которые бы позволяли натягивать произвольные поверхности, и довольно сложные, на какие-то произвольные каркасы (сечения).

Обычно при маркшейдерских съемках горных выработок, в том числе и очистных, мы получаем сечения. Многие методы съемок (фотопланиметрический, звуколокационный) как раз и основаны на получении сечений выработок. Для таких съемок могут применяться безотражательные светодальномеры и цифровые камеры. В этом случае вопросы обработки результатов таких съемок на ЭВМ решаются очень просто. Все эти сечения и могут служить каркасами для построения моделей сложных тел.

Для решения этих задач создан математический аппарат. В основном он используется в машиностроении, причем это

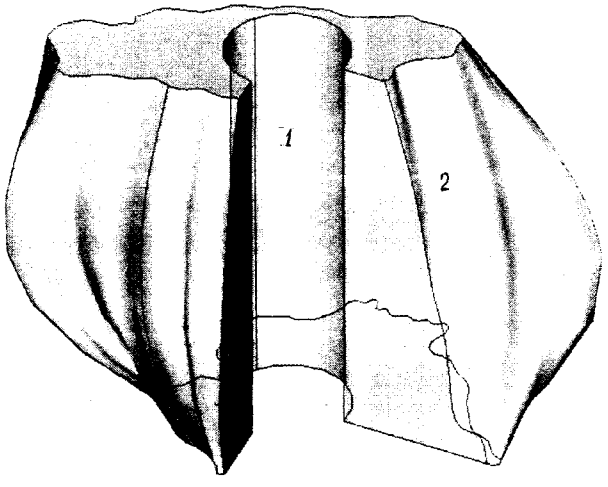
очень развитые системы (AutoCAD, Solid EDGE, Micro Station, Intergraph, AutoSurf и др.). Например, программа AutoSurf фирмы «Autodesk» является трехмерной системой криволинейного и поверхностного моделирования, базирующейся на NURBS (nonuniform rational B-splinc – неоднородных рациональных В-сплайнах). С помощью этой программы можно:

- проектировать сложные трехмерные модели;
- выполнять реалистичное тонирование поверхностных моделей;
- выполнять рабочие чертежи;
- экспортировать поверхностные модели для проверки и изготовления;
- импортировать данные в IGES и других форматах.

При совместном использовании AutoSurf и AutoCAD Designer можно создавать параметрические твердотельные модели с произвольной поверхностью.

На сегодня, помимо построения поверхности, натянутой на какой-то каркас, можно по этой поверхности определить и твердые тела. Эти программы, предназначенные для создания различных моделей механических деталей, могут быть использованы и для создания моделей тел неправильной формы, какими чаще всего и являются горно-геологические объекты. В горном деле особенно трудно описать сложные сочетания тела полезного ископаемого с очистными и подготовительными выработками, целиками. Тем более, когда это сочетание (комбинация) все время находится в динамике. В этом случае твердотельное моделирование сравнительно легко решает эти задачи. Ведь его главный принцип следующий: все многообразие сложных объемов (поверхностей) может рассматриваться как комбинация более простых тел. И над ними можно выполнять логические операции вычитания, сложения и объединения. В результате объединения из этих тел в пространстве (даже если они не соприкасаются между собой) получается единая фигура. Если тела соприкасаются, то сопряженные объемы не дублируются, а входят единым объемом во вновь образованную фигуру. Иногда композиция двух тел может быть такой, что объем каждого тела будет меньше объема их суммы. Вычитание одного тела из другого тоже является интересным механизмом, который позволяет, например, из массива вычитать очистные выработки. В этом случае на любой момент времени мы можем знать объемы оставшихся запасов.

Применение твердотельного моделирования рассмотрим на примере создания модели глубокого рудоспуска (см. рисунок). При разработке некоторых месторождений как открытым, так и подземным способами технологией горных работ предусматривается перепуск отбитой руды на нижележащие горизонты по рудоспускам. При этом происходит интенсивный износ



Фрагмент вертикального рудоспуска
1 – первоначальное сечение; 2 – форма рудоспуска на момент съемки

и разрушение стенок, что может привести к возникновению аварийных ситуаций, особенно когда вблизи рудоспусков имеются горные выработки. Кроме того, в рудную массу, перепускаемую по рудоспускам, вовлекается большое количество пустых пород, объем которых необходимо учитывать.

Контроль рудоспусков представляет довольно трудную задачу из-за их полной недоступности для непосредственных съемок. Для этих целей на кафедре маркшейдерского дела СПГГИ были разработаны звуколокационные приборы, с помощью которых и были выполнены многочисленные съемки рудоспусков. В частности, в 80-х годах звуколокатором «Профиль» были произведены съемки двух глубоких рудоспуском на руднике «Центральный» производственного объединения «Апатит». Глубина рудоспусков на момент съемки составляла около 400 м. Съемка выполнялась горизонтальными сечениями, расстояние между которыми составляло, в зависимости от характера разрушения стенок, от 15 до 20 м. На рисунке представлена модель фрагмента данного рудоспуска. Результаты съемок свидетельствовали о значительном разрушении стенок рудоспусков, в результате чего площадь их поперечного сечения увеличилась в 3-4 раза.

С помощью операций вычитания, сложения и объединения можно смоделировать любую комбинацию (фигуру). Например, необходимо изобразить в построенной модели рудоспуска его первоначальный диаметр. Для этого необходимо из тела рудоспуска вычесть тело цилиндра заданного диаметра.

Для нас более важным является то, что, моделируя шаг за шагом горные выработки по материалам маркшейдерских замеров, мы можем в конечном итоге получить общую модель месторождения, привязанную в пространстве системой координат X, Y, Z. Ведь уже имея по материалам геологических исследований модель тела полезного ископаемого, по маркшейдерским съемкам мы можем моделировать конкретные выработки и вычитать их из геологической модели. В результате мы всегда будем иметь модель, соответствующую оставшимся запасам. При этом имеется возможность анализировать те фрагменты, которые мы вычитаем. Все это может быть записано во времени, и тогда можно, как в мультфильме, увидеть динамику развития горных работ и изменение состояния запасов полезного ископаемого. При этом достигается высокая объективность и наглядность, ведь речь идет о трехмерном построении. Можно подобрать различную текстуру горных пород и полезного ископаемого и модели приобретут еще большую наглядность. Это, в свою очередь, позволит более точно вести проектные работы.

Очень часто при проектировании горных выработок приходится пользоваться различными разрезами. Их построение представляет определенную трудность. Часто при построении человек руководствуется тем, что, подсекая определенные точки, он далее сам начинает обводить сечения. Геолог (маркшейдер), строя геологические разрезы, чаще всего сглаживает некоторые контуры, что впоследствии может привести к несогласованности разрезов. Если же при построении сечений мы используем уже принятую модель тела полезного ископаемого, любые из этих сечений будут согласовываться с этими телами. Таким образом,

при трехмерном моделировании снижаются ошибки такого рассогласования, вероятность которых особенно велика при очень сложных формах залегания полезного ископаемого.

При моделировании сложных тел специалисту все равно приходится принимать какие-то субъективные решения. И чаще всего этот процесс носит больше интерактивный характер, чем автоматический. Человеку очень сложно понять форму, допустим, рудоспуска по какой-то описательной части или даже по тем же сечениям, тем более, что они могут поворачиваться в пространстве в ту или другую стороны. При математическом моделировании этим процессом легко управляется, форму тела можно формировать, редактировать, корректировать.

Таким образом, появляется возможность для построения самых различных сечений в едином трехмерном пространстве. Это остается актуальным, несмотря на бурное развитие ЭВМ, так как горно-графическая документация в привычном для нас виде (планы, разрезы, сечения) будет нужна и в будущем. Попутно будут решаться и другие задачи: расчет объемов, площади, потерь, разубоживания, учет движения запасов.

В настоящее время созданы общие стандарты моделирования, позволяющие описать практически все многообразие форм. Все они поддерживают международные стандарты, в частности стандарт IGES. Это так называемая платформа независимых стандартов, принятая такими фирмами, как Intergraf, AutoDesk, AutoCAD, AutoSurf и др. Она позволяет как считывать модели, сделанные в других системах и записанные в стандарте IGES, так и выводить свои модели в этом стандарте, поэтому модели можно легко передавать из одной системы в другую.

Таким образом, технические средства для трехмерного моделирования есть, остается лишь правильно их использовать.