При анализе акустических сигналов измельчения цирконового концентрата на промышленной мельнице ВГМК было установлено, что все показатели Гильберта-Хуанга [3] и вейвлет-преобразований уменьшаются при увеличении удельной поверхности продукта измельчения. Показатель плотности мощности спектра Гильберта (E) по сравнению с другими показателями максимально коррелирует с различием удельной поверхности материала в рабочем режиме.

Таким образом, предложенная система анализа акустических сигналов процесса струйного измельчения, которая основана на применении преобразования Гильберта-Хуанга и вейвлет-анализа, позволит контролировать режим работы струйной мельницы и дисперсность получаемого продукта на основе результатов акустического мониторинга

Список литературы

1. Характеристики дисперсности продуктов струйного измельчения / Л. Ж. Горобец, Н. С. Прядко, В. П. Краснопер, Л. А. Цыбулько, П. А. Бакум // ЗКК НГУ. – Днепропетровск. – 2010. – № 41 – 42 (81). – С. 110 –121.

2. Михалёв А.И., Прядко Н.С., Сухомлин Р.А. Вейвлет-анализ акустических сигналов процесса струйного измельчения //Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (80). - Днепропетровск, 2012. – С. 122-127.

3. The Hilbert-Huang transform and its applications /Editors: Norden E. Huang, Samuel S.P. Shen. - World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. 5, Toh Tuck. - Link, Singapore.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СВОЙСТВ ОБЪЕКТОВ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО РАЗРЕЗА НА ОСНОВАНИИ ГРАВИРАЗВЕДОЧНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

О.Р. Денисюк
(Украина, Днепропетровск, ГВУЗ «Национальный горный университет»)

При поисках и разведке месторождений полезных ископаемых в условиях Украинского щита большую роль играет, в частности, гравиразведка, при интерпретации данных которой важно знать плотности горных пород, слагающих геологический разрез изучаемого района. Их можно получить различными способами, в том числе путем интерпретации результатов гравиразведочных измерений на площади изучаемого участка. Последний способ особенно актуален, так как полученные результаты характеризуют истинную плотность горных пород в условиях их естественного залегания. Эта задача относится к классу некорректно поставленных обратных линейных задач гравиразведки, решения которых сложны и неустойчивы даже при их линейной постановке. Общие положения теории решения некорректно поставленных линейных обратных задач изложены в работах А.Н Тихонова, В.И. Старостенко, В.Н. Страхова и др.

В данной работе разработаны алгоритм и программа определения плотности горных пород геологического разреза на основании гравиразведочных измерений аномалий Δg_a, проведены испытания на различных моделях.

Пусть имеется p $(p=\overline{1,M})$ однородных по плотности двухмерных тел произвольного сечения, простирающихся вдоль одной и той же оси y прямоугольной системы координат xoz (ось x направлена вправо, ось z – вниз). Пусть также на профиле, пересекающем тела вкрест простиранию, измерена в ряде точек j, $j=\overline{1,N}$, с координатами x_j, z_j, гравитационная аномалия $\Delta g_a\left(x_j, z_j\right)$. Задача состоит в том, чтобы по измеренному на профиле распределению поля Δg_a и известным формам и размерам сечений двухмерных тел определить величину избыточной плотности каждого тела, т. е. σ_P, $p=\overline{1,M}$.

Следует отметить, что в такой общей постановке задача не имеет единственного решения. Однако можно выделить классы тел, для которых единственность решения плоской обратной задачи гравиразведки в линейной постановке имеет место. Одним из таких классов являются тела с многоугольным сечением. Если же факт единственности установлен, то применение регуляризующих алгоритмов гарантирует приближение к искомому решению, согласованному по точности с точностью входных данных. Гравитационный эффект всех M двумерных тел геологического разреза в j-ой точке профиля равен сумме их эффектов, а эффект $V_{zp}(x_j)$ одного p-го тела геологического разреза в j-ой точке профиля равен сумме эффектов всех m_p уступов его аппроксимационной конструкции. Таким образом, для определения плотностей $\sigma_p, p=\overline{1,M},$ всех M тел геологического разреза необходимо составить систему уравнений. решая которую относительно σ_p, можно определить плотности горных пород всех тел геологического разреза:

$$V_z(x_j)=\sum_{p=1}^{M}\sum_{i=1}^{m_p}\sigma_p\varphi\left(x_j, d_{1i}^{p}, h_i^{p}, d_{2i}^{p}, H_i^{p}\right), \quad j=\overline{1,N}, \tag{1}$$

где d_1, h и d_2, H - координаты верхней и нижней угловых точек уступа.

Таким образом, задача сводится к решению переопределенной системы линейных алгебраических уравнений типа

$$A\sigma = U, \tag{2}$$

где А – матрица коэффициентов размерности n на m, σ - вектор искомых значений плотностей тел размерности m, а U - вектор значений исходной функции Δg_a или $\delta\Delta g_a$.

Фундаментальным приемом решения некорректно поставленных систем уравнений является метод регуляризации А.Н. Тихонова, который сводится к минимизации сглаживающего параметрического функционала

$$M^{\alpha}[\sigma, U, A]=\left\|A\sigma-U\right\|^2+\alpha\left\|\sigma\right\|^2 \to \min\ , \tag{3}$$

где $\alpha = \alpha(\delta, \delta_1) > 0$ – параметр регуляризации, согласованный с погрешностями входных данных δ и δ_1.

Минимизация функционала сводится к решению системы уравнений:

$$(A^* A + \alpha E)\sigma^{\alpha} = A^* U, \tag{4}$$

где A^* – транспонированная матрица A, а E – единичная матрица. Решение этой системы уравнений позволяет найти плотности σ_j, $j = \overline{1, M}$, всех M тел геологического разреза, создающих гравитационную аномалию на профиле. Трудность в этом алгоритме представляет выбор параметра α. Его нельзя вычислить заранее, так как неизвестны ошибки входных данных δ и δ_1. Поэтому минимизацию функционала выполняют на сетке значений параметра регуляризации α, которую будем строить в виде геометрической прогрессии $\alpha_s = \alpha_{s-1}\mu$ со знаменателем $\mu \in [0,1]$.

Для выбора оптимального значения α и соответственно оптимального решения задачи А. Н. Тихонов и В. Б. Гласко предложили эвристический метод выбора α по минимуму функции $\tau(\alpha) = \left\| \alpha \dfrac{\partial U}{\partial \alpha} \right\|$.

На поведение функции влияют многие факторы - характер оператора А , уровень ошибок во входных данных δ и δ_1, поэтому она имеет ряд минимумов, что затрудняет выбор квазиоптимального параметра регуляризации. В связи с этим в данной работе предложен еще один способ выбора оптимального решения. Численными экспериментами установлено, что при положительных значениях параметра регуляризации функция $\varphi(\alpha, \eta) = \lg \| A\sigma - U \|^2$ непрерывна и строго монотонно возрастает. Установлено также, что параметр α принимает квазиоптимальное значение, $\alpha = \alpha_{ko}$, в том случае, когда функция $\tau(\alpha)$ имеет максимальную кривизну, т.е функция $K(\alpha, \eta) = |\varphi''| / (1 + \varphi'^2)^{3/2}$ достигает максимума.

Таким образом, находя экстремали $\sigma^{\alpha s}$ функционала А.Н. Тихонова на сетке значений параметра $\alpha_{s+1} = \alpha_s \mu$, $\mu \in [0,1]$, s=0, 1, 2,... и каждый раз вычисляя $K(\alpha, \eta)$ в конечных разностях по формуле

$$K_s(\alpha, \eta) = |\varphi_{s-2} - 2\varphi_{s-1} + \varphi_s| / [1 + (\varphi_{s-2} - \varphi_s)^2 / 4]^{3/2}, \tag{5}$$

по ее максимуму можно определить α_{ko} и приближенное решение задачи.

На основании описанного алгоритма была реализована программа на языке C# для программной платформы Microsoft .NET Framework 2.0.

Программа была испытана на модельных примерах. Гравитационные поля над моделями вычислялись путем решения прямой задачи гравиразведки. Они свободны от влияния случайных ошибок и регионального фона. Для исследования влияния случайных ошибок к вычисленным точным значениям поля добавлялись случайные ошибки различного уровня, распределенные по нормальному закону, которые характеризуются среднеквадратической ошибкой ε. Распределение ошибок моделировалось с помощью генератора случайных чисел. Для исследования влияния регионального фона к вычисленным значения поля, точным или осложненным случайными ошибками, добавлялись значения функции F=kx, моделирующей линейный региональный фон, где k – коэффициент, определяющий градиент регионального фона вдоль профиля, а x – координата точки профиля.

Проведенные испытания показали, что решение задачи устойчиво, предложенный критерий позволяет выбрать квазиоптимальное решение. Точность определения плотности пород $\Delta\sigma$ соизмерима с точностью ее определения в лаборатории на образцах горных пород и практически одинакова независимо от используемой исходной функции гравитационного поля. Ошибка решения лишь незначительно увеличивается при использовании трансформированных значений исходного поля, если региональный фон постоянный или линейный. На точность решения задачи оказывает влияние выбранный тип модели. Наличие начального приближения плотности тел повышает точность решения задачи.

Программа была испытана также в реальных условиях для определения избыточной плотности комплексов пород в условиях Верховцевской структуры Украинского щита по измеренным значениям поля Δg_v. Вычисленные значения плотностей комплексов пород достаточно хорошо совпадают с данными практических определений ее на образцах горных пород.

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ЗАКОНОВ ФИЗИКИ

Е.Р. Николаева
(Украина, Днепропетровск, ГВУЗ «Национальный горный университет»)

Постановка проблемы. Необходимость создания данной программы обусловлена потребностью в изучении физики, так как в основе всего естествознания лежат законы физики, потому что физика - это наука, изучающая простейшие и наиболее общие закономерности явлений природы, свойства и строение материи и законы ее движения. Перед нами стоит задача создания обучающей программы по физике с применением пространственного моделирования, для наглядного демонстрирование основных физических законов. Изучение физики играет важную роль в становлении современного инженера – любого технического направления, т.к. познание законов физической картины мира способствует развитию научного мировоззрения и закладывает основу для освоения специальных дисциплин.

Применение компьютерных технологий обучения позволяет видоизменить весь процесс обучения, реализовать модель личностно-ориентированного обучения. Современные средства обучения (компьютеры, телекоммуникационные связи, необходимое программное и методическое