

**Теоретическое обоснование адаптивного выбора параметра регуляризации в задаче подавления кратных волн методом высокоразрешающего преобразования Радона**

**Научный руководитель – Ворошилов Владислав Алексеевич**

*Карякин Семен Константинович*

*Студент (магистр)*

Пермский государственный национальный исследовательский университет,  
Геологический факультет, Пермь, Россия  
*E-mail: sem2714@gmail.com*

Подавление кратных волн – одна из ключевых задач наземной сейсмообработки. Высокорастворяющее преобразование Радона разделяет волны по кривизне и сводится к линейной обратной задаче  $d = Lm + n$ , которая некорректна. Согласно подходу А.Н. Тихонова, задача заменяется минимизацией параметрического функционала:

$$m(\lambda) = \arg \min \{ \|d - Lm\|_2^2 + \lambda R(m) \}, \quad (1)$$

Мера невязки – квадрат L2-нормы. Выбор стабилизатора  $R(m)$  определяет свойства решения. Классическая L2-регуляризация даёт гладкие решения, однако физически модель Радона должна быть разреженной. Этому удовлетворяет L1-норма:

$$R(m) = \|m\|_1 = \sum |m_n|. \quad (2)$$

С точки зрения байесовской статистики, L1-регуляризация эквивалентна введению априорного распределения Лапласа для компонент модели [1]. Максимизация апостериорной вероятности приводит к целевой функции:

$$m = \arg \min \{ \|d - Lm\|_2^2 + \lambda \|m\|_1 \}, \quad (3)$$

где  $\lambda = 2\sigma^2/\mu$ ,  $\sigma^2$  – дисперсия шума,  $\mu$  – параметр масштаба. В промышленных пакетах  $\lambda$  подбирают вручную, что субъективно и неадаптивно к нестационарности данных. Теория обратных задач предлагает объективные критерии. L-кривая [2] анализирует зависимость  $\log \|m\|_1$  от  $\log \|d - Lm\|_2$ . точка перегиба даёт оптимальное  $\lambda$ . Метод устойчив к коррелированным шумам. Обобщённая перекрёстная проверка (GCV) [3] минимизирует функцию:

$$V(\lambda) = \|d - Lm\|_2^2 / (N - \text{edof}(\lambda))^2, \quad (4)$$

где  $\text{edof}(\lambda)$  – число ненулевых компонент модели [4]. GCV не требует знания уровня шума, но чувствительна к корреляции ошибок. Автоматический выбор  $\lambda$  обеспечивает объективность, воспроизводимость, адаптивность и связь с теорией сжатых измерений. Предлагаемый подход позволяет создать самонастраивающуюся систему подавления кратных волн. Дальнейшие исследования направлены на численную реализацию и верификацию алгоритма.

### Источники и литература

- 1) Tibshirani R. Regression shrinkage and selection via the lasso // Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological). – 1996. – Vol. 58, No. 1. – P. 267–288.
- 2) Hansen P.C. Analysis of discrete ill-posed problems by means of the L-curve // SIAM Review. – 1992. – Vol. 34, No. 4. – P. 561–580.
- 3) Golub G.H., Heath M., Wahba G. Generalized cross-validation as a method for choosing a good ridge parameter // Technometrics. – 1979. – Vol. 21, No. 2. – P. 215–223.
- 4) Zou H., Hastie T., Tibshirani R. On the "degrees of freedom" of the lasso // The Annals of Statistics. – 2007. – Vol. 35, No. 5. – P. 2173–2192.