



ПРОТИВОКАРСТОВАЯ
И БЕРЕГОВАЯ ЗАЩИТА

Пермский Государственный национальный
исследовательский университет;
ООО «Противокарстовая и береговая защита»

Эффективный алгоритм решения прямой задачи ВЭЗ методом линейной фильтрации

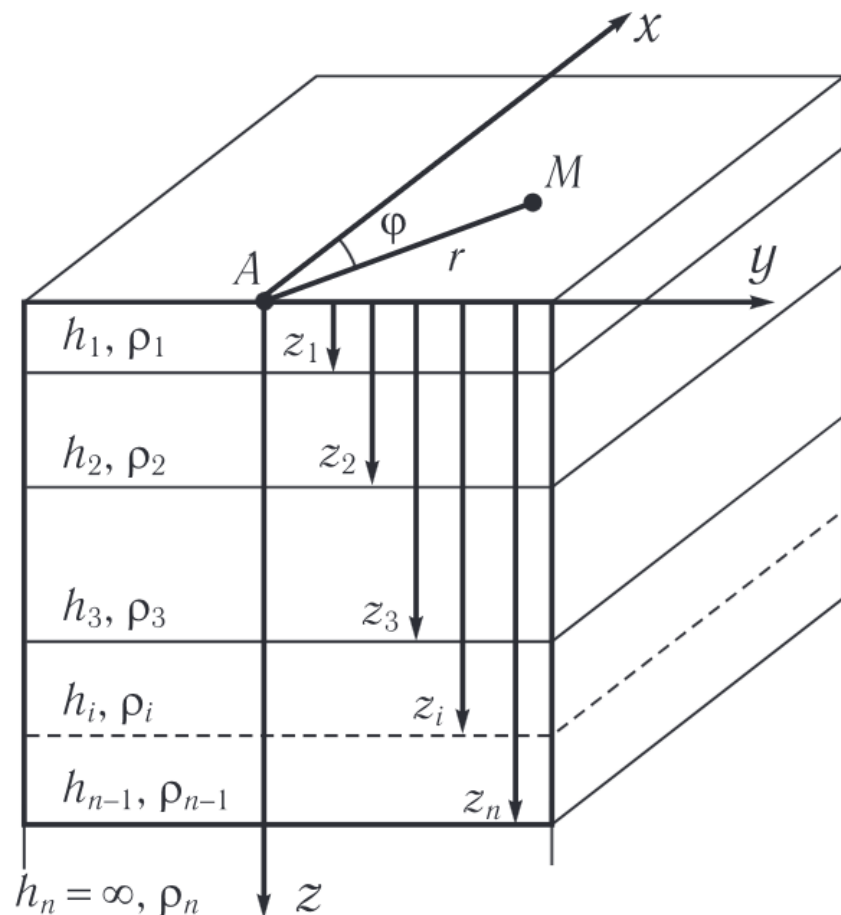
Бухтеев Евгений Михайлович

Научный руководитель: д.ф.-м.н. профессор, Долгаль А.С.

Актуальность исследования

- Отсутствие программ/алгоритмов решения прямой задачи ВЭЗ с открытым исходным кодом.
- Необходимость уменьшения времени решения ПЗ в связи с увеличением потребностей.

Прямая задача ВЭЗ



Прямая задача метода вертикального электрического зондирования (ВЭЗ) — расчёт элементов электрического поля по заданным параметрам геологической среды.

Прямая задача может быть решена в результате численного расчета интеграла Ханкеля:

$$\rho_k(r_j) = \rho_1 r^2 \int_0^{\infty} R_1(m) * m * J_1(mr) dm$$

Метод линейной фильтрации

Метод основан на рассмотрении значений одной функции как линейной комбинации дискретных значений другой функции при дискретизации с постоянным шагом по оси абсцисс.

Параметры используемых фильтров

- Коэффициенты фильтра G
- Число коэффициентов и абсцисс фильтра (длина фильтра) KF
- Число точек фильтра на декаду оси абсцисс KTM
- Коэффициент геометрической прогрессии q
- Сдвиг абсцисс фильтра относительно сетки разностей α
- Положение центрального коэффициента фильтра, числа коэффициентов памяти M и предсказания L , расположенных соответственно до и после центрального коэффициента

Схема работы алгоритма

Работа алгоритма начинается с определения набора абсцисс для каждого разноса установки. Абсцисса первого коэффициента фильтра определяется по формуле

$$X = r * \alpha / q^M$$

Остальные абсциссы возрастают в геометрической прогрессии с коэффициентом q .

Схема работы алгоритма

По заданным параметрам среды (мощности h и удельные сопротивления p слоев, а также их число N) и установки (разносы r линии АВ и их число j) рассчитываются значения кернел-функции R для каждого слоя i , начиная с самого глубокого:

$$R_N = 1$$

$$F_{i+1} = \frac{1 - \frac{p_{i+1}}{p_i} * R_{i+1}}{1 + \frac{p_{i+1}}{p_i} * R_{i+1}} * \exp\left(\frac{-2h_i}{X_j}\right)$$

$$R_i(X_j) = \frac{1 - F_{i+1}}{1 + F_{i-1}}$$

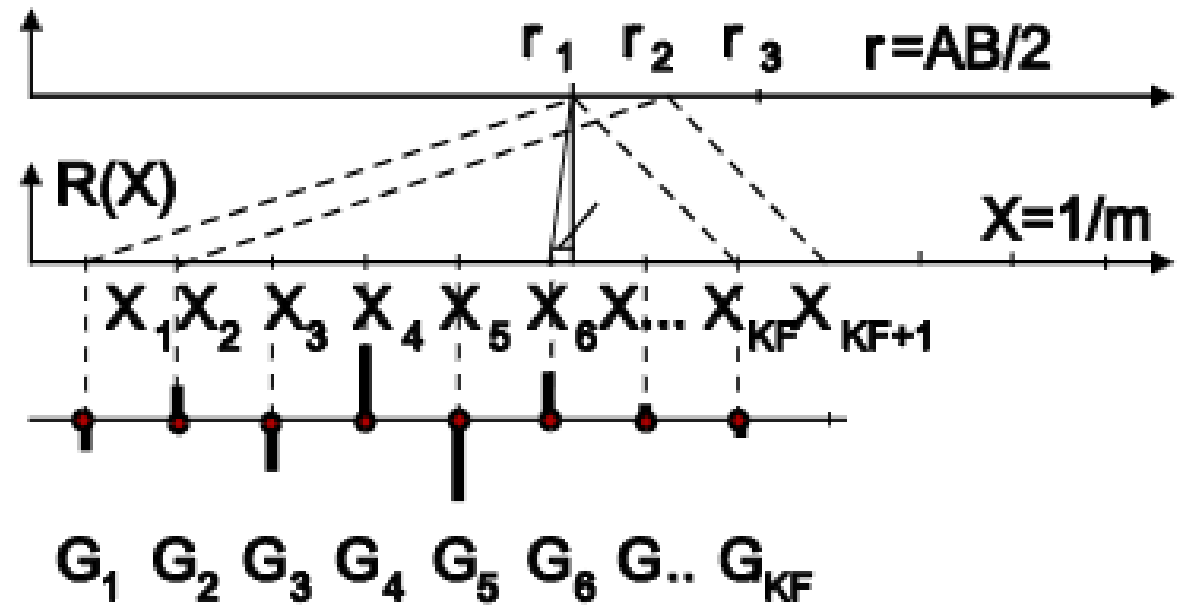
Схема работы алгоритма

Стоит отметить, что если разности установки так же возрастают в геометрической прогрессии с коэффициентом q , то для расчета КС для каждого, следующего за первым, разности используются уже рассчитанные для предыдущего разности значения R , за исключением первого, что позволяет сократить время работы программы.

Схема работы алгоритма

Полученные значения кернел-функции используются для определения кажущего сопротивления:

$$\rho_k(r_j) = \rho_1 \sum_{k=1}^{KF} R(X_{k+j-1}) * G(k)$$



Используемые фильтры

Параметр	Е.Ш. Абрамова	МГУ
KF	15	15
KTM	7	7
M	9	9
L	6	6
α	1.000	1.005

Оценка точности

Оценка точности проводилась путем сравнения полученных значений КС и результатов работы программного комплекса В.П. Колесникова «ЗОНД» по следующей формуле:

$$\sigma = \sum_{i=1}^j \frac{|\rho_i^B - \rho_i^Э|}{\rho_i^{max}} * 100$$

где ρ_i^B , $\rho_i^Э$, ρ_i^{max} – соответственно вычисленное, эталонное и наибольшее между вычисленным и эталонным кажущиеся сопротивления.

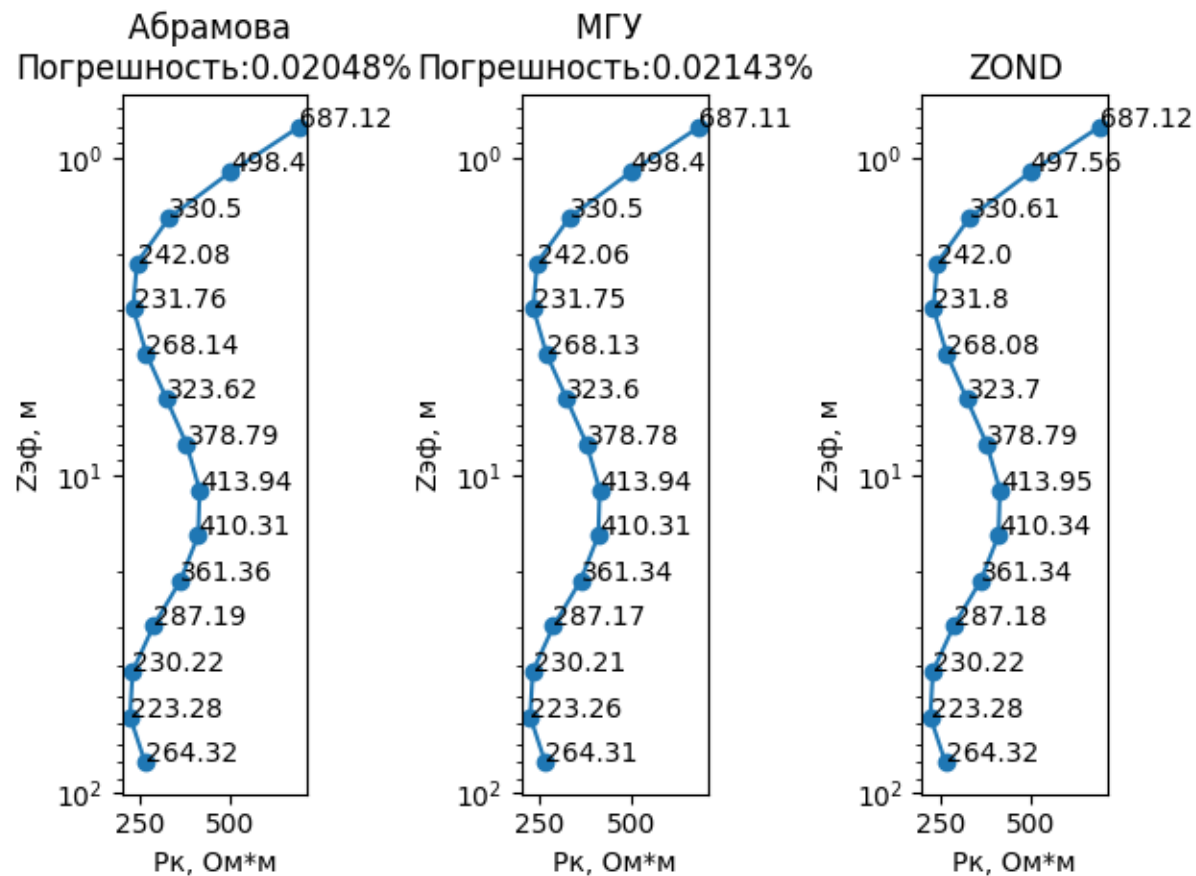
Результаты оценки точности

№ модели	Параметры геоэлектрического разреза						Погрешность, %	
							Фильтр Абрамовой	Фильтр МГУ
1	h, м	1,0	2,5	∞			0,020	0,022
	ρ , Ом*м	20,0	150,0	300,0				
2	h, м	1,0	2,5	∞			0,027	0,023
	ρ , Ом*м	300,0	150,0	20,0				
3	h, м	1,0	2,5	∞			0,003	0,003
	ρ , Ом*м	150,0	200,0	150,0				
4	h, м	1,0	2,5	∞			0,022	0,023
	ρ , Ом*м	150,0	20,0	150,0				
5	h, м	1,0	3,5	10,0	45,0	∞	0,021	0,021
	ρ , Ом*м	1000,0	150,0	1000,0	100,0	1000,0		
6	h, м	1,0	3,5	10,0	45,0	∞	0,029	0,028
	ρ , Ом*м	150,0	1000,0	50,0	1050,0	100,0		

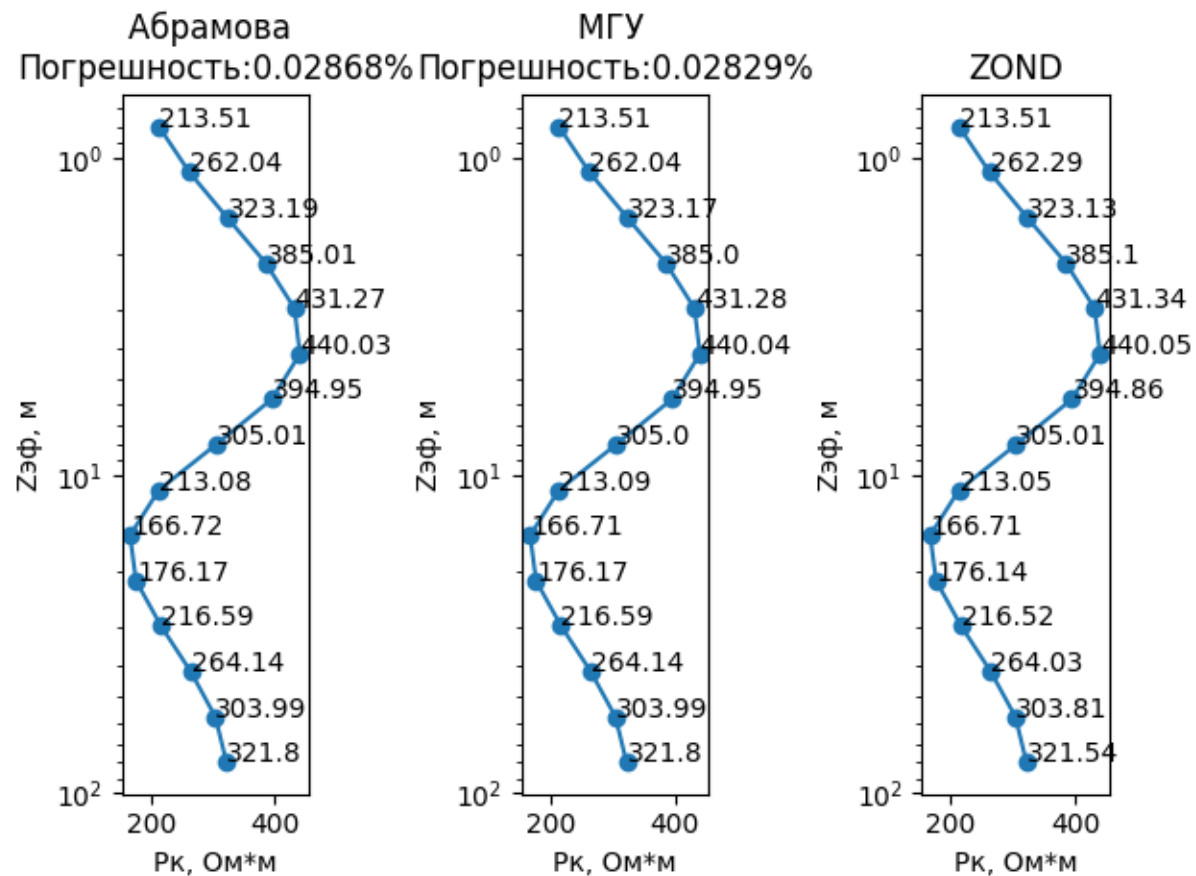
Измерение времени работы программы

Скорость работы программы зависит от параметров фильтра, числа разносов питающей линии АВ, количества слоев геоэлектрической модели. Так как тестируемые фильтры имеют одинаковое количество коэффициентов, разницы во времени работы программы при их применении нет.

Полученные кривые КС



Сравнение кривых модели 5



Сравнение кривых модели 6

Измерение времени работы программы

Число слоев	Время работы программы, мкс					
	Количество разностей, с шагом:					
	равным q			не равным q		
	10	15	20	10	15	20
2	2,9	2,9	2,9	7,9	7,9	8,0
3	2,9	2,9	3,0	7,9	8,0	8,1
4	3,0	3,0	3,0	7,9	8,0	8,1
5	3,0	3,1	3,1	7,9	8,0	8,1

Выводы

- Разработанная программа показывает хорошие результаты как в точности, так и в скорости вычислений.
- Устойчивость алгоритма, открытость и оптимизация кода упрощают практическое применение программы.
- Существуют возможности развития программы в виде расчета фильтров с различными q в целях повышения производительности.

Спасибо за внимание