

Министерство образования и науки Российской Федерации  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра Геофизики

**«Исследование трансформации Сидорова-Тикшаева**  
**для многослойных проводящих сред»**

АВТОРЕФЕРАТ ДИПЛОМНОЙ РАБОТЫ

Студента 6 курса 631 группы  
направления (специальности) 020302 Геофизика  
код и наименование направления (специальности)  
геологического факультета Саратовского национального исследовательского  
государственного университета имени Н.Г.Чернышевского  
наименование факультета, института, колледжа  
Прохоров Павел Андреевич  
фамилия, имя, отчество

Научный руководитель  
доктор физ.-мат. наук, профессор В. П. Губатенко  
должность, уч. степень, уч. звание дата, подпись инициалы, фамилия

Заведующий кафедрой  
кандидат геол.-мин. наук, доцент Е.Н. Волкова  
должность, уч. степень, уч. звание дата, подпись инициалы, фамилия

Саратов 2016 год

## **Введение**

В основе интерпретации данных становления поля лежит трансформация Сидорова-Тикшаева. Опыт применения этой трансформации для интерпретации полевых кривых показал, что кривые  $S_k$  кажущейся продольной проводимости хорошо коррелируют по профилю наблюдений и являются эффективным средством для расчленения геоэлектрического разреза. Вместе с тем, проверка возможностей трансформации Сидорова-Тикшаева исследована для небольшого числа проводящих слоев в разрезе. Представляет интерес изучения возможностей трансформации для достаточно большого числа слоев в случае контрастных и слабоконтрастных разрезов. Это и является целью настоящей дипломной работы.

Для достижения этой цели будут решены следующие задачи:

- 1 Формирование моделей контрастных и слабоконтрастных многослойных разрезов;
- 2 Расчет становления поля для этих моделей в случае установки петля в петле;
- 3 Построение кривых  $S_k$  в зависимости от времени становления поля;
- 4 Построение кривых  $S_k$  в зависимости от глубины исследований;
- 5 Анализ результатов применения трансформации Сидорова-Тикшаева.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Среди модификаций зондирования становлением поля, различающихся типом установок, практическое применение получили две: зондирование в дальней (волновой) зоне электрического диполя (ЗС) и зондирование в ближней зоне магнитного диполя (ЗСБ). Первую из этих модификаций (ЗС) применяют главным образом для поисков нефтегазоносных структур, а вторую (ЗСБ) можно также использовать и для прямых поисков хорошо проводящих руд или для изучения геологической структуры рудных полей.

Трансформация Сидорова-Тикшаева базируется на решении задачи о становлении поля в присутствие проводящей плоскости.

Проводящей плоскостью (пленкой) называется однородный проводящий слой проводимости  $\sigma$  и мощности  $H$  такой, что при уменьшении  $H$  и увеличении  $\sigma$  имеем

$$\lim_{\substack{H \rightarrow 0 \\ \sigma \rightarrow \infty}} \sigma H = S < \infty, \quad S \neq 0.$$

Величина  $S$  называется продольной проводимостью проводящей плоскости. Рассмотрим становление поля для проводящей плоскости.

Поместим проводящую плоскость на поверхности  $z=0$  прямоугольной декартовой системы координат, как показано на рисунке 1, и будем считать вмещающее пространство изолятором. Введем круговую цилиндрическую систему координат  $\rho, \phi, z$ , связанную с прямоугольными декартовыми координатами  $x, y, z$  соотношениями:  $x = \rho \cos \phi$ ,  $y = \rho \sin \phi$ ,  $z = z$ ,  $0 \leq \rho < +\infty$ ,  $0 \leq \phi < 2\pi$ ,  $-\infty < z < +\infty$ .

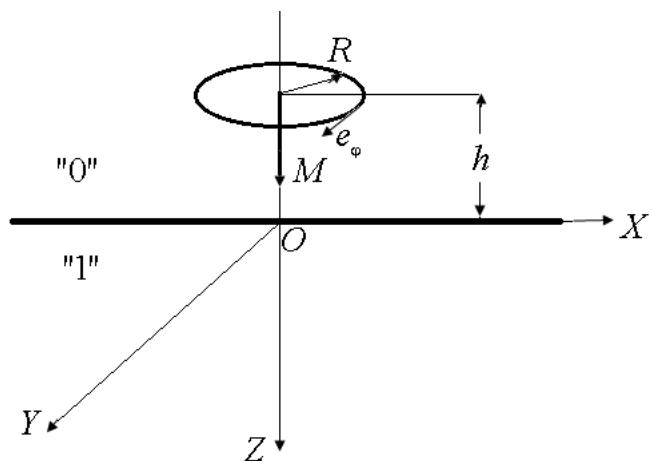


Рисунок 1 - Схема возбуждения становления поля для проводящей плоскости

Пусть электромагнитное поле возбуждается ступенчатым выключением в момент времени  $t = 0$  тока силы  $J$  в круговой петле радиуса  $R$  с центром на оси  $OZ$ , расположенной на плоскости  $z = -h$ . Ступенчатое выключение тока означает, что сила тока  $J^{off}$  в петле изменяется по закону

$$J^{off}(t) = \begin{cases} J, & t < 0, \\ 0, & t > 0. \end{cases}$$

Будем также считать, что ток протекает по часовой стрелке, если смотреть на круговую петлю сверху из области  $z < -h$ . Другими словами, направление тока совпадает с направлением вектора  $\mathbf{e}_\phi$ , входящего в тройку  $\mathbf{e}_\phi, \mathbf{e}_\rho, \mathbf{e}_z$  единичных базисных векторов цилиндрической системы координат и касательного к координатной линии  $\phi$ , на которой расположена круговая петля. В этом случае объемная плотность стороннего тока  $\mathbf{j}^e$  изменяется по закону

$$\mathbf{j}^e = \mathbf{e}_\phi J \delta(\rho - R) \delta(z + h) J^{off}(t),$$

где  $\delta$  – дельта-функция Дирака.

В силу симметрии задачи, электромагнитное поле в круговой цилиндрической системе координат имеет только три отличные от нуля компоненты:  $E_\phi$ ,  $H_\rho$  и  $H_z$ .

При измерениях поля в плоскости  $z = -h$  имеем

$$E_\phi^{off} = \frac{3M}{\pi S} \frac{\rho(h + t/(\mu_0 S))}{[\rho^2 + 4(h + t/(\mu_0 S))^2]^{5/2}}, \quad (1)$$

где  $M = \pi R^2 J$  – магнитный момент круговой петли.

Рассмотрим теперь метод Сидорова-Тикшаева для решения обратной задачи в случае проводящей плоскости.

Пусть в плоскости  $z = -h$  для заданного разноса  $\rho$  известна компонента  $E_\phi^{off}(t)$  электрического поля, определяемая выражением (1), но неизвестна продольная проводимость  $S$  и расстояние  $h$  магнитного диполя до проводящей плоскости. Для нахождения этих двух параметров запишем выражение (1) в виде

$$E_{\Phi}^{off} = \frac{k}{S} F(\bar{m}), \quad (2)$$

где  $k = \frac{3M}{\pi\rho^3}$ ,  $F(\bar{m}) = \frac{\bar{m}}{(1 + 4\bar{m}^2)^{5/2}}$ ,  $\bar{m} = \frac{h}{\rho} + \frac{t}{\mu_0 S \rho}$ .

Отсюда находим производную по времени  $t$  функции  $E_{\Phi}^{off} = \frac{k}{S} F(\bar{m})$ :

$$\frac{dE_{\Phi}^{off}}{dt} = \dot{E}_{\Phi}^{off} = \frac{k}{\mu_0 \rho S^2} F'(\bar{m}), \quad (3)$$

где  $F'(\bar{m}) = \frac{1 - 16\bar{m}^2}{(1 + 4\bar{m}^2)^{7/2}}$ . Исключая искомую величину  $S$  из уравнений (2) и (3), получаем следующее нелинейное уравнение относительно  $\bar{m}$ :

$$(1 + 4\bar{m}^2)^{3/2} \left( \frac{1}{\bar{m}^2} - 16 \right) - k\mu_0 \rho \frac{\dot{E}_{\Phi}^{off}}{E_{\Phi}^{off 2}} = 0. \quad (4)$$

$$\Phi(\bar{m}) = (1 + 4\bar{m}^2)^{3/2} \left( \frac{1}{\bar{m}^2} - 16 \right), \quad \bar{m} > 0$$

Функция  $\Phi(\bar{m})$  монотонно убывающая и  $-\infty < \Phi(\bar{m}) < +\infty$ , поэтому существует единственное решение уравнения (4). После нахождения численного решения  $\bar{m}$  этого уравнения, из уравнения (3) определяют продольную проводимость

$$S = k \frac{F(\bar{m})}{E_{\Phi}^{off}}, \quad (5)$$

а затем – расстояние  $h$  от плоскости измерения поля (плоскости  $z = -h$ ) до проводящей плоскости

$$h = \rho \bar{m} - \frac{t}{\mu_0 S}. \quad (6)$$

Интерпретация кривых становления поля для установки петля в петле проводится с помощью трансформации (качественной интерпретации) Сидорова-Тикшаева. В этой интерпретации предполагается, что в каждый отсчет времени  $t$  кривая  $E_{\Phi}^{\text{эксп}}(t)$  становления поля такая же, как и  $E_{\Phi}^{\text{off}}(t)$  для проводящей плоскости, расположенной в непроводящем пространстве, т.е. при нахождении  $S$  и  $h$ , соответствующих времени  $t$ , в уравнение (4) вместо  $k\mu_0\rho \frac{\dot{E}_{\Phi}^{\text{off}}}{E_{\Phi}^{\text{off}}{}^2}$  подставляют  $k\mu_0\rho \frac{\dot{E}_{\Phi}^{\text{эксп}}}{E_{\Phi}^{\text{эксп}}{}^2}$ . После нахождения  $\bar{m}$  из этого уравнения, применяя формулу (5), определяют  $S_{\tau}(t) = k \frac{F(\bar{m})}{E_{\Phi}^{\text{эксп}}}$ , называемую кажущейся продольной проводимостью геоэлектрического разреза в момент времени  $t$ . Вместо  $h$  обычно вычисляют  $H_k(t) = 0.75\bar{m}\rho$  – кажущуюся глубину исследования, где  $\rho$  – радиус измерительной петли. После расчета  $S_{\tau}(t)$  и  $H_k(t)$  для каждого отсчета времени  $t$  строят кривые кажущейся продольной проводимости  $S_{\tau}(t)$  и кажущейся глубины исследования  $H_k(t)$ . После чего рассчитывается кривая  $S_{\tau}(H_k)$ .

Для проведения расчетов становления поля вертикального магнитного диполя, лежащего на дневной поверхности многослойной среды, с помощью генератора случайных чисел построено четыре 20-ти слойных геоэлектрических разреза. Первые два разреза являются контрастными по проводимости, и отличаются друг от друга только тем, что в одном случае основание разреза высокоомное, а в другом – низкоомное. Два других разреза – слабоконтрастные, так же отличающиеся между собой основаниями.

По результатам расчетов становления поля построены кривые кажущейся продольной проводимости  $S_k(t)$ , кривые  $S_k(H_k)$  и теоретические кривые  $S(H)$ . Эти кривые изображены на рисунках 2 – 9.

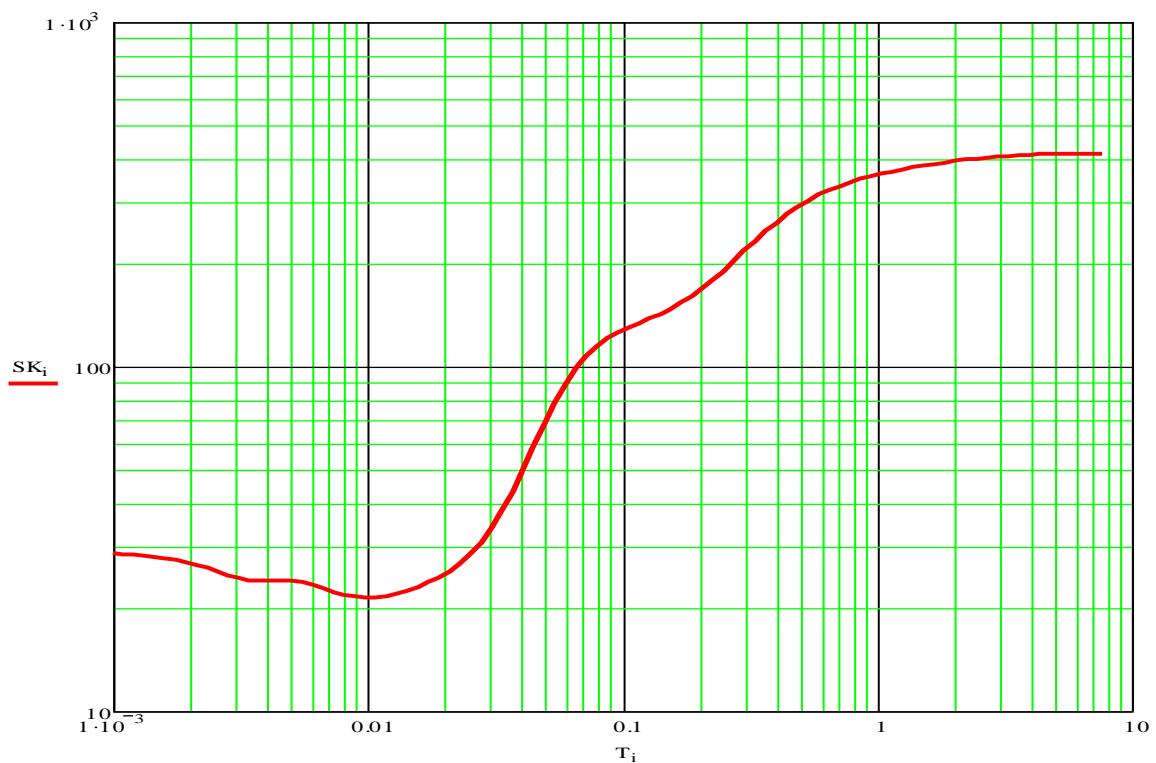


Рисунок 2 – Кажущаяся продольная проводимость  $S_k(t)$  для контрастной среды с высокоомным основанием

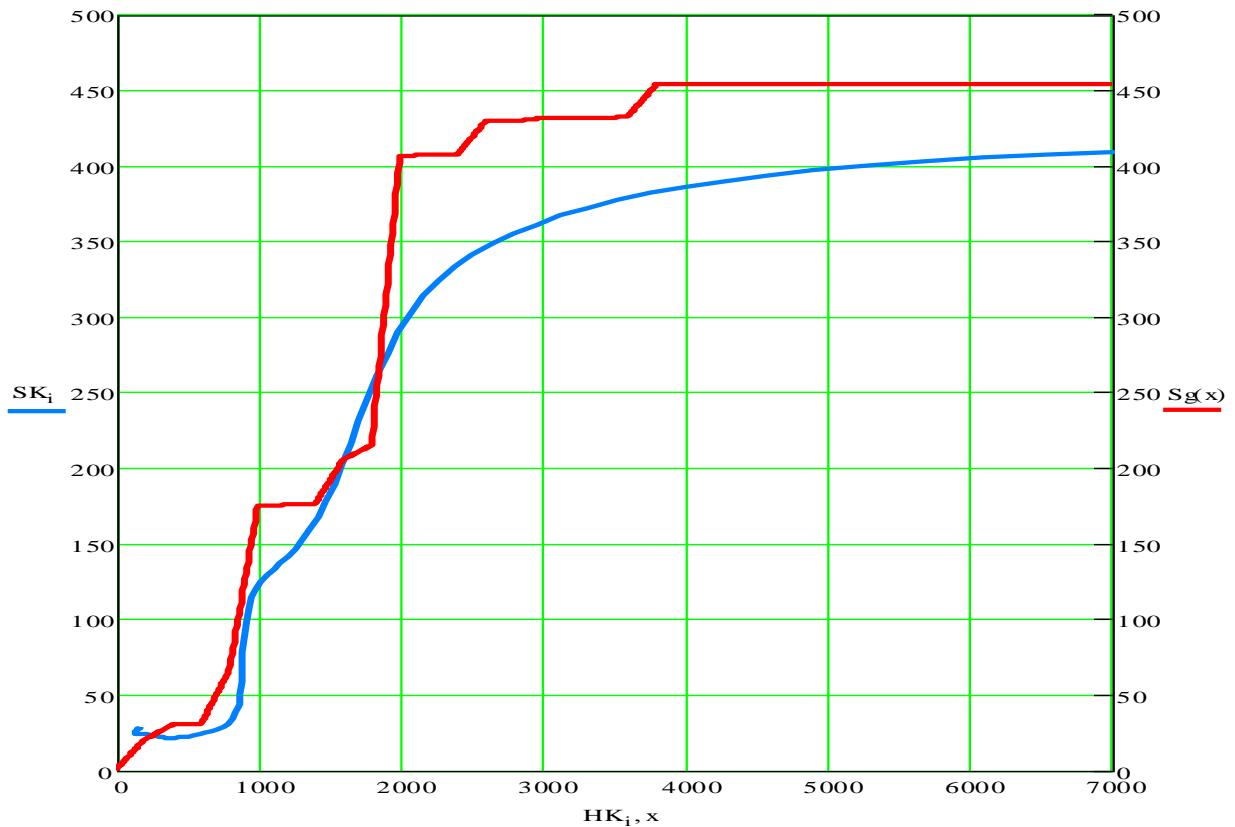


Рисунок 3 - теоретическая кривая  $S(H)$  и кривая  $S_k(HK)$  для контрастного геоэлектрического разреза и высокоомного основания

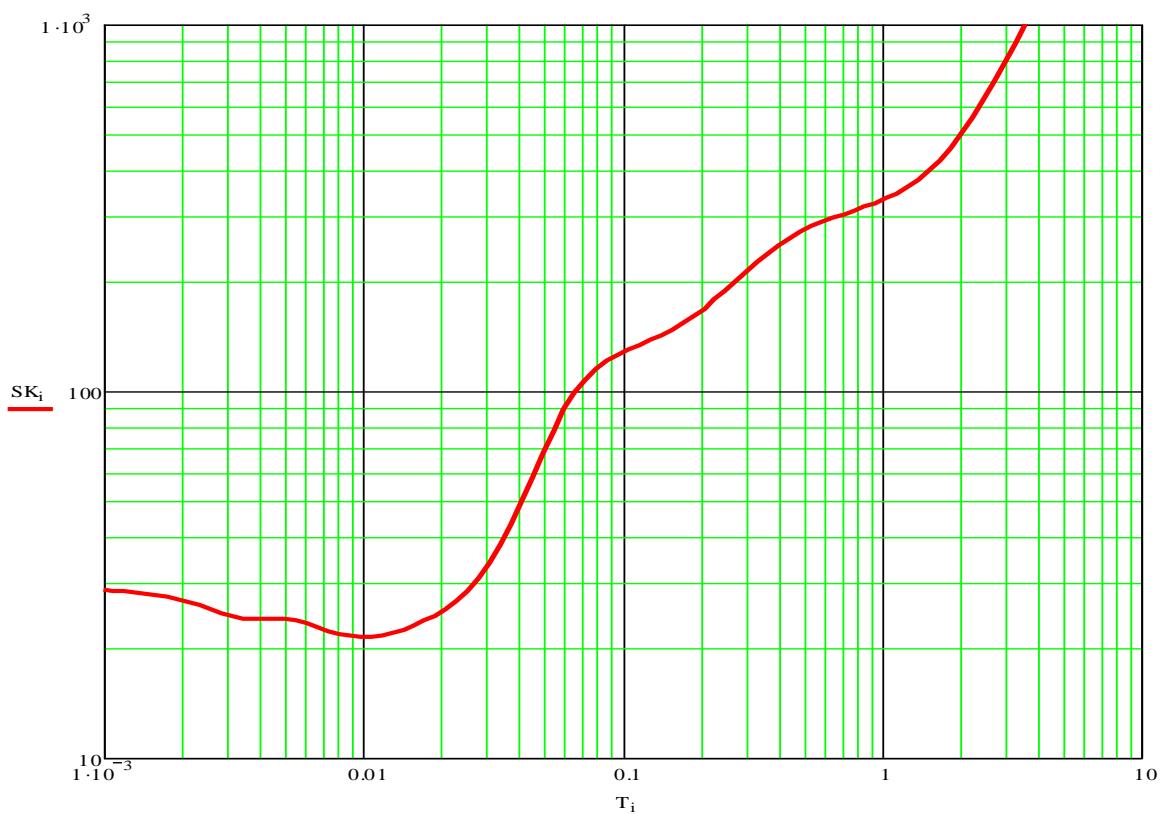


Рисунок 4 – Кажущаяся продольная проводимость  $S_k(t)$  для контрастной среды с низкоомным основанием

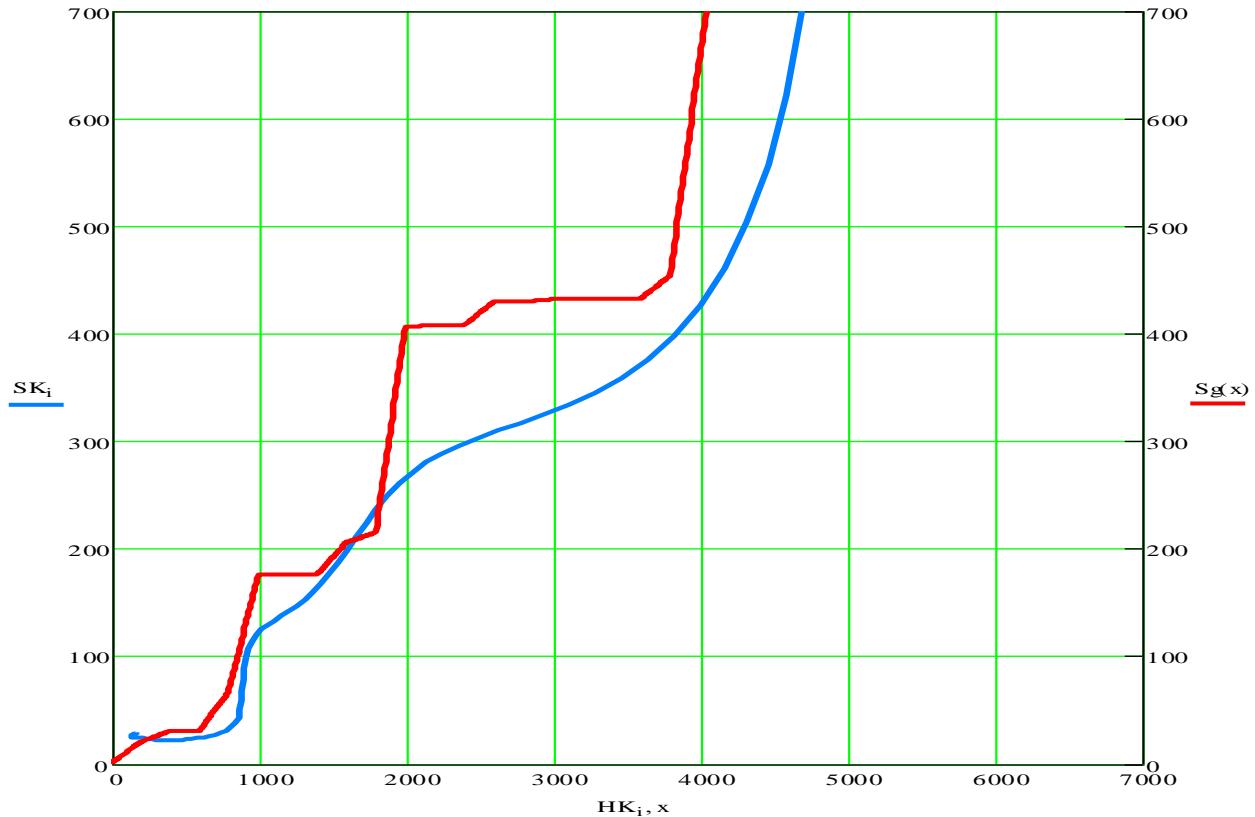


Рисунок 5 - теоретическая кривая  $S(H)$  и кривая  $S_K$  ( $HK$ ) для контрастного геоэлектрического разреза и низкоомного основания



Рисунок 6 – Кажущаяся продольная проводимость  $S_k(t)$  для слабоконтрастной среды с высокоомным основанием



Рисунок 7 - теоретическая кривая  $S(H)$  и кривая  $S_K(H_K)$  для слабоконтрастного геоэлектрического разреза и высокоомного основания

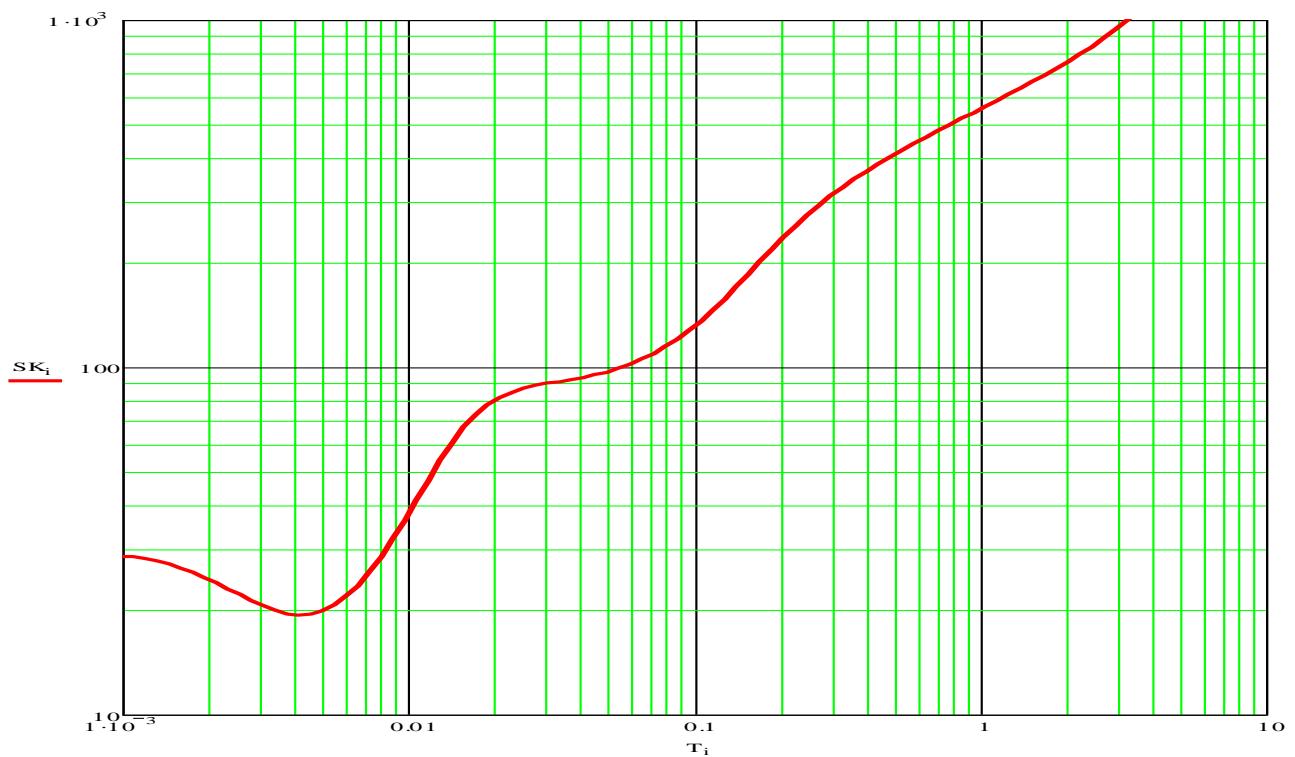


Рисунок 8 – Кажущаяся продольная проводимость  $S_k(t)$  для слабоконтрастной среды с низкоомным основанием

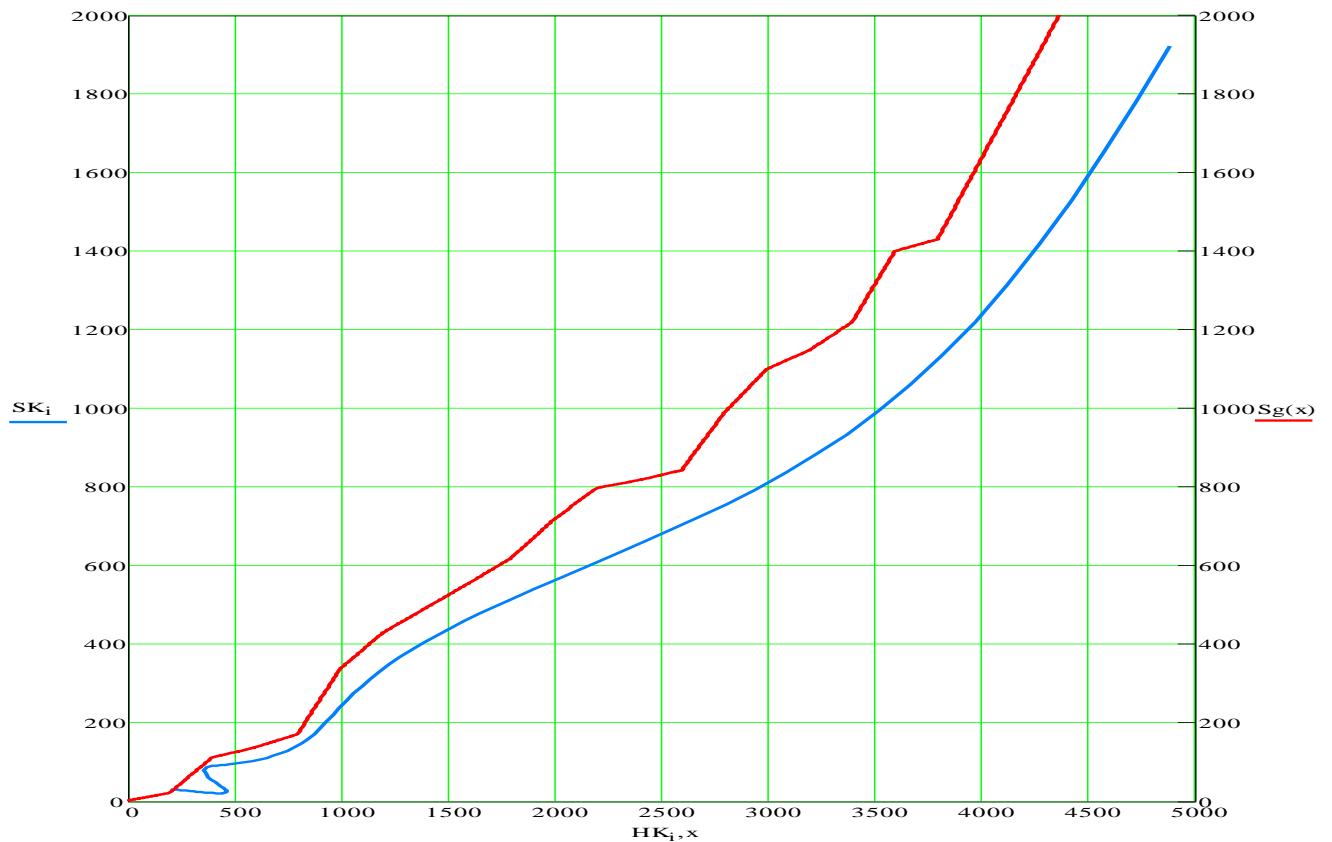


Рисунок 9 - теоретическая кривая  $S(H)$  и кривая  $S_K(HK)$  для слабоконтрастного геоэлектрического разреза и низкоомного основания

В целом кривые неплохо определяют тренд теоретических кривых  $S(H)$ . Однако кривые  $S_k(H_k)$  дают несколько заниженные значения продольной проводимости геоэлектрического разреза, хотя по точкам перегиба кривых  $S_k(H_k)$  хорошо определяются границы высокоомных и низкоомных горизонтов.

## Заключение

В настоящей дипломной работе получены следующие результаты:

1. Рассмотрены теоретические основы метода становления поля.
2. Показаны особенности становления поля в дальней и ближней зонах.
3. Рассмотрены прямая и обратная задача становления поля вертикального магнитного диполя в присутствии проводящей плоскости.
4. Применяя генератор случайных чисел, построено четыре модели 20-ти слойных геоэлектрических разрезов: два разреза контрастных и два слабоконтрастных.
5. Проведены расчеты становления поля вертикального магнитного диполя для построенных разрезов.
6. Применена трансформация Сидорова-Тикшаева к рассчитанным кривым становления поля.
7. Построены кривые  $S_k$  кажущейся продольной проводимости от времени  $t$ .
8. Построены кривые  $H_k$  кажущейся глубины исследования.
9. Выполнено сравнение теоретических кривых продольной проводимости и кривых  $S_k(H_k)$  для контрастных и слабоконтрастных разрезов.
10. По результатам численных расчетов сделан вывод о том, что применение трансформация Сидорова-Тикшаева для многослойных контрастных и слабоконтрастных разрезов дает неплохое соответствие теоретических кривых  $S(H)$  продольной проводимости и кривых  $S_k(H_k)$  кажущейся продольной проводимости.

Все поставленные задачи во введении дипломной работы выполнены полностью.