

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

Кафедра геофизики

**«Зависимость времени вступления квазиволн в сигнал становления поля
от разноса для установки петля-петля»**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

Студента 5 курса 502 группы
направление 05.03.01 геология
геологического ф-та
Кульмамбетова Николая Сергеевича

Научный руководитель

Д. ф.-м.н., профессор

В.П. Губатенко

подпись, дата

Зав. кафедрой

К. г.- м.н., доцент

Е.Н. Волкова

подпись, дата

Саратов 2017

ВВЕДЕНИЕ

Сигнал становления электромагнитного поля содержит информацию о строении геоэлектрического разреза, то есть о проводимости и мощности составляющих его слоев. Вместе с тем, при интерпретации полевых результатов зондирования становлением поля возникает проблема нахождения глубины залегания и мощности этих слоев. При выполнении качественной интерпретации существуют несколько приближенных способов определения глубины залегания проводящих слоев, в каждом из которых задается некоторая эмпирическая зависимость глубины исследования от времени становления поля. Сравнение таких способов часто дает весьма противоречивые и сильно отличающиеся друг от друга результаты.

В связи с этим представляет интерес разработка метода, хотя бы для заданного разреза, позволяющего поставить в соответствие время становления и глубину исследования, а также основанного на закономерностях поведения становления квазистационарного электромагнитного поля. Это и является основной целью настоящей бакалаврской работы. Для разработки такого метода поставлены следующие задачи:

1. Рассмотреть квазиволновые свойства сигнала становления поля и понятие квазиволны.
2. С помощью генератора случайных чисел построить 11- слойную проводящую горизонтально-слоистую среду и ввести понятие времени вступления квазиволны от кровли слоя, залегающего в этой среде.
3. Рассчитать времена вступления квазиволн для различных разносов.
4. Провести обобщение результатов численного моделирования.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Настоящая бакалаврская работа посвящена изучению зависимости времени переходного процесса от глубины исследования в методе становления поля для установки петля-петля. Исследование этой зависимости проводится на основе квазиволновых свойств сигнала становления поля.

В разделе 1 «**Понятие квазиволны**» изложены квазиволновые свойства сигнала становления.

В качестве источника всюду рассматривается петля, по которой до момента времени $t = 0$ (времени отключения тока) протекает постоянный электрический ток силы J . Если площадь S_1 этой петли сравнительно мала, то такой источник называется вертикальным магнитным диполем и характеризуется моментом $M = S_1 J$.

Измерение сигнала становления поля проводится петлей площади S_2 , удаленной от источника на расстоянии r , называемым разносом. В этой петле наводится при $t > 0$ эдс индукции $\mathcal{E}(t)$. Заметим также, что $\mathcal{E}(t)$ при относительно малой площади S_2 связана с вертикальной компонентой $B_z(t)$ магнитной индукции \mathbf{B} простым соотношением $\mathcal{E}(t) = -S_2 \frac{\partial B_z(t)}{\partial t}$. Поэтому можно говорить об измерении величины $\dot{B}_z(t) = \frac{\partial B_z(t)}{\partial t}$. Такую приемно-генераторную установку называют «петля-петля».

Бакалаврская работа основана на понятии квазиволны, введенном в работе Губатенко В. П., Осипова В.Г. и Назарова А.А.. В этой работе изложены квазиволновые свойства сигнала становления поля. В частности, рассмотрена двухслойная горизонтально-слоистая среда, изображенная на рисунке 1. Первый слой имеет мощность $H_1 = 100$ м и проводимость $\sigma_1 = 1$ См/м. Проводимость σ_2 второго слоя (основания геоэлектрического разреза) изменяется в сторону увеличения ($\sigma_2 > \sigma_1$) или уменьшения ($\sigma_2 < \sigma_1$).

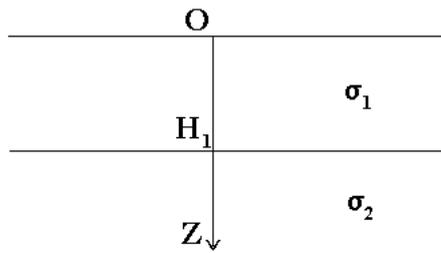


Рис. 1. Модель двухслойной среды

Электромагнитное поле возбуждается ступенчатым выключением при $t = 0$ момента $M = 1$ А·м вертикального и расположенного в плоскости $z = 0$ магнитного диполя. В квазистационарном приближении для данного геоэлектрического разреза и разноса $r = 1$ м по программе DBZG, разработанной Губатенко В.П. и Назаровым А.А., проведен расчет аномальной компоненты $\dot{B}_{za} = \dot{B}_z - \dot{B}_z^1$, где \dot{B}_z и \dot{B}_z^1 - производные по времени вертикальной компоненты магнитной индукции соответственно для двухслойной среды с проводимостью второго слоя $\sigma_2 \neq \sigma_1$ и модели полупространства с проводимостью σ_1 ($\sigma_2 = \sigma_1$).

На рисунке 2 изображены результаты расчета, из которых следует, что

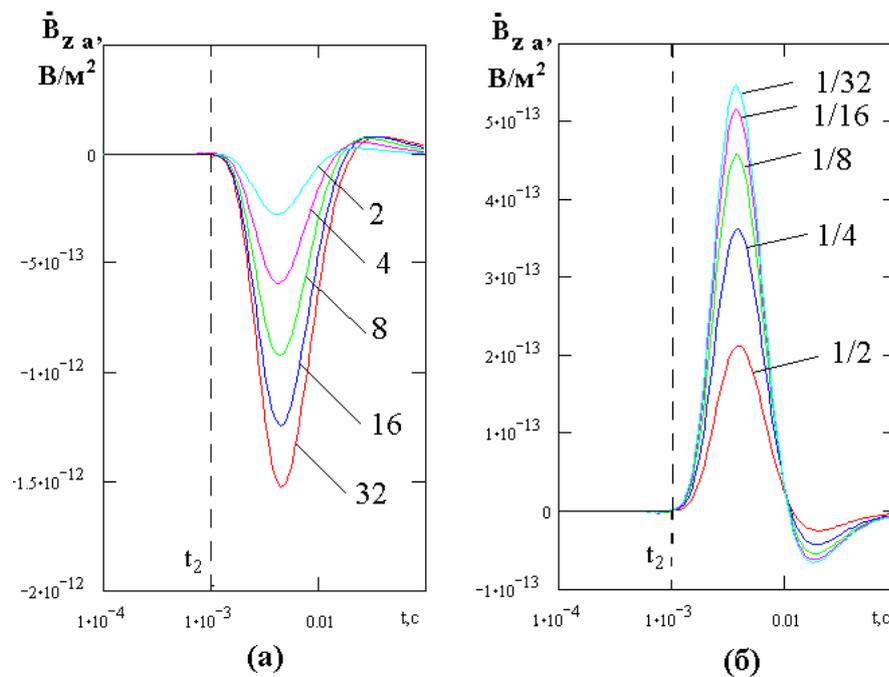


Рис. 2. Аномальная компонента \dot{B}_{za} для двухслойной среды в случае низкоомного (а) и высокоомного (б) основания разреза. Шифр кривых: σ_2 / σ_1

до момента времени $t = t_2 \approx 10^{-3} \text{ с}$ компонента \dot{B}_z для двухслойной среды почти не отличается от \dot{B}_z^1 полупространства ($\dot{B}_{z,a} \cong 0$). При увеличении контрастности проводимостей первого и второго слоев возрастает амплитуда аномального поля, стремясь к некоторому предельному значению.

Полученный результат говорит о том, что сигнал \dot{B}_z становления поля, рассчитанный в квазистационарном приближении, ведет себя аналогично сигналу, создаваемому волновым полем. Почти так же, как и в случае волнового поля, сигнал \dot{B}_z практически не зависит от проводимости основания σ_2 в интервале $0 < t < t_2$. Такое свойство сигнала становления поля названо квазиволновым, а аномальное поле $\dot{B}_{z,a}$ – квазиволной. Тогда время t_2 можно назвать временем вступления квазиволны в сигнал становления поля от кровли второго слоя.

В разделе 2 «**Определение времени вступления квазиволны**» показано, что сигнал становления поля имеет такие же свойства и в случае многослойной горизонтально-слоистой среды. Изложен также алгоритм расчета времени вступления квазиволн в сигнал становления поля.

С этой целью в бакалаврской работе рассмотрена горизонтально-слоистая среда, состоящая из 11 проводящих слоев. Проводимости σ_i , $i = 1, 2, \dots, 11$ этих слоев заданы с помощью генератора случайных чисел и представлены в таблице 1. Мощности первых 10 слоев одинаковы и равны 200 м, последний 11-й слой – основание геоэлектрического разреза. Такой геоэлектрический разрез назван исходным и обозначен индексом L_11. Значения проводимости слоев представлены в таблице 1.

Так же, как и в разделе 1, расчет $\dot{B}_z(t) = \frac{\partial B_z(t)}{\partial t}$ для этого и других вспомогательных разрезов выполнен с помощью программы DBZG, в предположении $M = 1 \text{ А} \cdot \text{м}$.

Таблица 1 – Значения проводимости слоев геоэлектрического разреза

| | | | | | | |
|--------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Номер i -го слоя | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Проводимость σ_i , См/м | 0.02 | $4.469 \cdot 10^{-2}$ | $2.822 \cdot 10^{-3}$ | $2.783 \cdot 10^{-1}$ | $6.784 \cdot 10^{-3}$ | $7.558 \cdot 10^{-2}$ |
| Номер i -го слоя | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | |
| Проводимость σ_i , См/м | $3.600 \cdot 10^{-4}$ | $3.049 \cdot 10^{-3}$ | $3.700 \cdot 10^{-2}$ | $2.728 \cdot 10^{-1}$ | 0.1 | |

Рассмотрены вспомогательные разрезы L_{1_0} , L_{5_1} и L_{1_3} , отличающиеся от исходного разреза только проводимостью 4-го слоя. Пусть в разрезе L_{1_0} проводимость равна 1 См/м, в разрезе L_{5_1} – 0.5 См/м, в разрезе L_{1_3} – 0.001 См/м.

На рисунке 3 в билогарифмическом масштабе представлены результаты расчета $\dot{B}_z(t)$ для разноса $r=200$ м и геоэлектрических разрезов L_{11} , L_{1_0} , L_{5_1} и L_{1_3} . Зависимости $\dot{B}_z(t)$ от времени для разрезов L_{11} , L_{1_0} , L_{5_1} и L_{1_3} обозначены соответственно $\dot{B}_z(t)$, $\dot{B}_{z_1}^4(t)$, $\dot{B}_{z_0.5}^4(t)$, $\dot{B}_{z_0.001}^4(t)$. Все эти функции отрицательные при $0 < t < 1.61 \cdot 10^{-4}$ с и положительные при $t > 1.61 \cdot 10^{-4}$ с, поэтому на рисунке 3 изображены их абсолютные значения.

Как следует из рисунка 3, кривые $\dot{B}_z(t)$ для всех рассматриваемых разрезов практически неразличимы до момента времени $t_4 \approx 2 \cdot 10^{-3}$ с, но при $t > 2 \cdot 10^{-3}$ с их отличие становится заметным, а затем значительным.

Чтобы более точно определить этот момент времени, предпочтительно рассмотреть относительные отклонения кривых $\dot{B}_{z_1}^4(t)$, $\dot{B}_{z_0.5}^4(t)$, $\dot{B}_{z_0.001}^4(t)$ от кривой $\dot{B}_z(t)$ для исходного разреза L_{11} , то есть рассчитать значения функций

$$\delta_4^1(t) = \frac{\dot{B}_{z_1}^4(t) - \dot{B}_z(t)}{\dot{B}_z(t)}, \quad \delta_4^{0.5}(t) = \frac{\dot{B}_{z_0.5}^4(t) - \dot{B}_z(t)}{\dot{B}_z(t)}, \quad \delta_4^{0.001}(t) = \frac{\dot{B}_{z_0.001}^4(t) - \dot{B}_z(t)}{\dot{B}_z(t)}.$$

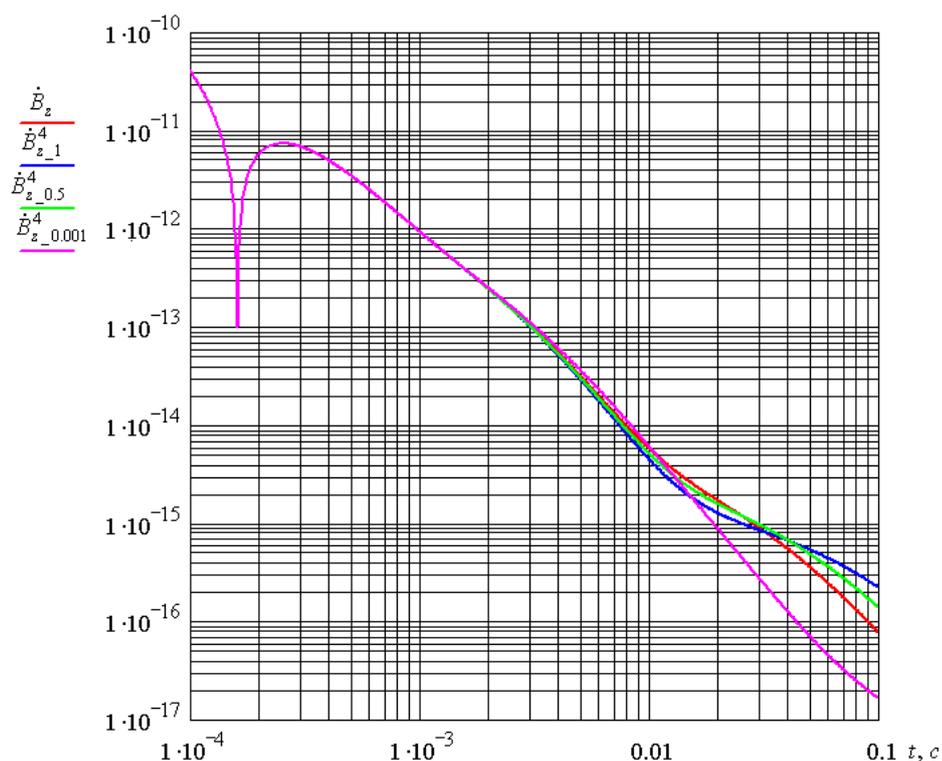


Рис. 3. Кривые $\dot{B}_z(t)$ для исходного и вспомогательных геoeлектрических разрезов

Относительные отклонения $\delta_4^1(t)$, $\delta_4^{0.5}(t)$, $\delta_4^{0.001}(t)$ лучше, чем абсолютные отклонения, определяют степень отличия кривых $\dot{B}_{z_1}^4(t)$, $\dot{B}_{z_0.5}^4(t)$, $\dot{B}_{z_0.001}^4(t)$ от кривой $\dot{B}_z(t)$ для всех значений времени t , за исключением малой окрестности точки $t \approx 1.61 \cdot 10^{-4}$ с, в которой эти функции изменяют знак.

Графики функций $\delta_4^1(t)$, $\delta_4^{0.5}(t)$, $\delta_4^{0.001}(t)$ изображены на рисунке 4, из которого следует, что кривые $\dot{B}_{z_1}^4(t)$, $\dot{B}_{z_0.5}^4(t)$, $\dot{B}_{z_0.001}^4(t)$ начинают отклоняться при $t_4 \approx 2 \cdot 10^{-3}$ с, и это время можно назвать временем вступления квазиволны в сигнал становления поля от кровли 4-го слоя исходного геoeлектрического разреза. Учитывая, что проводимость σ_4 исходного разреза равна $\sigma_4 = 0.2783$ См/м, видим, что чем больше контраст этой проводимости с проводимостью 4-го слоя вспомогательного разреза, тем проще определить по рисунку 4 время вступления. К таким вспомогательным разрезам относятся разрезы L_1_0 и _1_3, у которых проводимости 4-го слоя равны

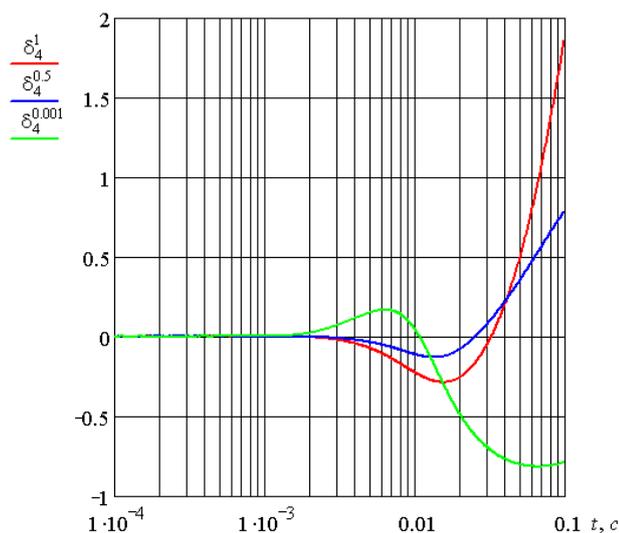


Рис. 4. Относительное отклонение кривых \dot{B}_{z-1}^4 , $\dot{B}_{z-0.5}^4$, $\dot{B}_{z-0.001}^4$ от кривой $\dot{B}_z(t)$

соответственно 1 См/м и 0.001 См/м. Выбирая вспомогательный разрез L_1_0, определено время вступления t_B квазиволны от 4- го слоя исходного разреза из условий

$$|\delta_4^1(t)| \leq \alpha \text{ при } 0 < t \leq t_B, \quad (1)$$

$$|\delta_4^1(t)| > \alpha \text{ при } t = t_B + 0, \quad (2)$$

где α – заданное число в интервале $0 < \alpha < 1$. Выбор числа α зависит от различных обстоятельств, например точности измерения сигнала, однако, задавая это число чрезмерно малым, можно получить, в силу квазистационарности электромагнитного поля, сильное смещение времени вступления t_B в область ранних стадий переходного процесса. Здесь и в дальнейшем положено $\alpha = 0.02$. Отсюда, применяя условия (1) и (2), найдено время вступления квазиволны от кровли 4- го слоя исходного разреза, равное $t_B \approx 3 \cdot 10^{-3}$ с, что несколько больше времени вступления $t_4 \approx 2 \cdot 10^{-3}$ с, определенное по рисунку 4.

Предложенный метод нахождения времени вступления можно применить не только для 4- го слоя исходного геоэлектрического разреза, то и для любого другого слоя этого разреза. Алгоритм нахождения времени вступления t_i

квазиволны в сигнал становления поля от кровли i -го слоя для исходной горизонтально-слоистой среды L_11 сводится к следующему:

1 Кроме функции $\dot{B}_z(t)$, соответствующей исходному разрезу L_11, рассчитывается $\dot{B}_z^i(t)$ для вспомогательного геоэлектрического разреза, отличающегося от исходного разреза только проводимостью i -го слоя. Проводимость i -го слоя выбрана равной 1 См/м, так как она значительно превышает проводимости всех слоев разреза L_11.

2 Рассчитывается относительное отклонение $\delta_i(t)$ кривой $\dot{B}_z^i(t)$ от кривой $\dot{B}_z(t)$ по формуле

$$\delta_i(t) = \frac{\dot{B}_z^i(t) - \dot{B}_z(t)}{\dot{B}_z(t)}.$$

3 Время вступления t_i от кровли i -го слоя определяется из условий

$$|\delta_i(t)| \leq 0.02 \text{ при } 0 < t \leq t_i,$$

$$|\delta_i(t)| > 0.02 \text{ при } t = t_i + 0.$$

Очевидно, также, что время вступления t_1 от первого слоя равно нулю.

В разделе 3 **«Расчет времени вступления квазиволн для различных разносов»** представлены в виде рисунков и таблиц результаты расчетов времени вступления квазиволн от каждого слоя исходной горизонтально-слоистой среды для разносов 200 м, 500 м, 1000 м. Для каждого разноса построены кривые зависимости времени становления поля от глубины исследования.

В разделе 4 **«Обобщение результатов численного эксперимента»** по результатам расчетов, полученных в разделе 3 бакалаврской работы, построена таблица 2 времен вступления от каждого слоя исходной модели для разносов 200 м, 500 м, 1000 м..

Применяя эту таблицу, можно построить зависимость времени t становления поля от глубины исследования H . Построенные графики функции $t(H)$ для всех рассмотренных разносов являются монотонно возрастающими

функциями, что соответствует физическому механизму проникновения неустановившегося электромагнитного поля вглубь земли.

Таблица 2 – Времена вступления для разносов 200 м, 500 м, 1000 м.

| Номер i -го слоя | Глубина h_i залегания кровли i -го слоя, м | Время вступления t_i , с; $r=200$ м | Время вступления $(t_{пр})$, с; $r=500$ м | Время вступления $(t_{пр})$, с; $r=1000$ м |
|--------------------|--|---------------------------------------|--|---|
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 200 | 0.00024244 | 0.000235 | 0.000281 |
| 3 | 400 | 0.001068 | 0.000893 | 0.001211 |
| 4 | 600 | 0.003005 | 0.003035 | 0.002822 |
| 5 | 800 | 0.008049 | 0.008544 | 0.008265 |
| 6 | 1000 | 0.01247 | 0.012721 | 0.014718 |
| 7 | 1200 | 0.017842 | 0.017842 | 0.01832 |
| 8 | 1400 | 0.024531 | 0.024048 | 0.022804 |
| 9 | 1600 | 0.03545 | 0.034751 | 0.031667 |
| 10 | 1800 | 0.056027 | 0.055472 | 0.052602 |
| 11 | 2000 | 0.07185 | 0.071139 | 0.070197 |

Более того, видим, что для каждого заданного i -го слоя и различных разносов значения времени вступления почти не отличаются друг от друга, а часто даже совпадают. Обобщая этот результат, можно сделать вывод, что времена вступлений не зависят от разноса, а определяются только строением горизонтально-слоистой среды.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения настоящей бакалаврской работы получены следующие результаты:

1. Рассмотрены квазиволновые свойства сигнала становления поля и понятие квазиволны.
2. На примере 11- слойной модели горизонтально-слоистой среды, построенной с помощью генератора случайных чисел, рассмотрено понятие времени вступления квазиволны в сигнал становления поля от кровли любого слоя, составляющего эту среду.
3. Изложен алгоритм расчета времени вступления квазиволны.
4. Рассчитаны времена вступления для построенной 11- слойной модели горизонтально-слоистой среда для различных разносов.
5. Показано, что по временам вступления для заданного геоэлектрического разреза можно построить зависимость времени становления от глубины исследования.
6. Установлено, что времена вступления не зависят от разноса, а определяются только строением горизонтально-слоистой среды.

Все поставленные в бакалаврской работе задачи выполнены.