

Отчет об использовании кластера ИВЦ НГУ

1. Наименование работы

Исследование систем источник-приемник (тороидальные и соленоидальные) в областях с анизотропной удельной электропроводностью.

2. Состав коллектива исполнителей

Архипов Дмитрий Александрович, младший научный сотрудник, Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука.

3. Контактное лицо (ФИО, адрес электронной почты)

Архипов Д.А., d_arhipov@list.ru

4. Аннотация

Реализовано моделирование электромагнитного поля в частотной области в естественных переменных с анизотропной вмещающей средой. Исследовано влияние структуры тензора удельной электропроводности на поведение напряженности электромагнитного поля.

5. Научное содержание работы

(a) Постановка задачи.

Электромагнитные исследования околоскважинного пространства выполняются в широком диапазоне частот с локальными источниками (электрическая или магнитная катушки).

В отчете будет рассмотрена не обсаженная генераторная скважина с соленоидальной катушкой в анизотропной среде. Выполнено исследование влияния тензора удельной электропроводности на электромагнитное поле вне скважины.

Расчетная область представляет собой скважину с генераторной катушкой в однородной среде

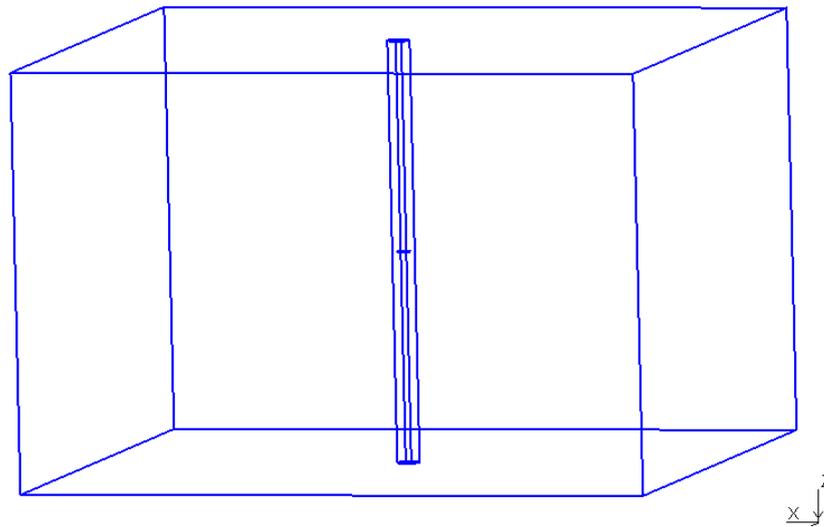


Рисунок 1. Расчетная область

Геометрические параметры расчетной области

Радиус скважины: 0.108 м.

Радиус генераторной катушки: 0.05 м.

Центр генераторной катушки: (0; 0; 0)

Таблица 1 – Электрофизические характеристики среды

| Область | ϵ_r | μ_r | σ [Sm * m] |
|-----------------|--------------|---------|---|
| Буровой раствор | 1 | 1 | 0.3333 |
| Вмещающая среда | 1 | 1 | $\begin{pmatrix} \sigma_{xx} & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} \\ \sigma_{yx} & \sigma_{yy} & \sigma_{yz} \\ \sigma_{zx} & \sigma_{zy} & \sigma_{zz} \end{pmatrix}$ |

Частота источника: 1 МГц. Сила тока: 1 А.

(b) Подробное описание работы, включая используемые алгоритмы.

Напряженность электрического поля \mathbf{E} в частотной области описывается уравнением Гельмгольца

$$\text{rot}\mu^{-1}\text{rot}\mathbf{E} + k^2\mathbf{E} = -i\omega\mathbf{J}_s,$$

$$\mathbf{E} \times \mathbf{n}|_{\partial\Omega} = 0$$

Где $k^2 = i\omega\sigma - \omega^2\varepsilon$, \mathbf{E} -комплексная векторная функция, Ω - область моделирования, $\partial\Omega$ - граница области Ω , \mathbf{J}_s - вектор плотности тока, $\mathbf{J}_s \in [\mathbf{L}_2(\Omega)]^3$. На границах между подобластями Γ_{ij} с различными электрофизическими характеристиками должны выполняться условия непрерывности тангенциальной компоненты.

Выполнение условий непрерывности обеспечивает закон сохранения заряда в областях с разрывными электрофизическими характеристиками. Следовательно, вычислительные схемы как для решения систем уравнений Максвелла, так и для решения уравнения Гельмгольца, должны конструироваться таким образом, чтобы непрерывность выполнялась с заданной точностью. Векторный метод конечных элементов позволяет выполнить эти требования на уровне построения базиса.

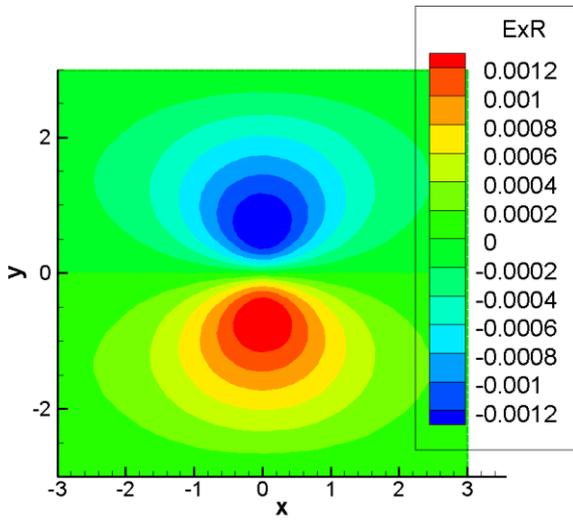
Удельная электропроводность вмещающей среды – тензор

$$\sigma = \begin{pmatrix} \sigma_{xx} & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} \\ \sigma_{yx} & \sigma_{yy} & \sigma_{yz} \\ \sigma_{zx} & \sigma_{zy} & \sigma_{zz} \end{pmatrix}$$

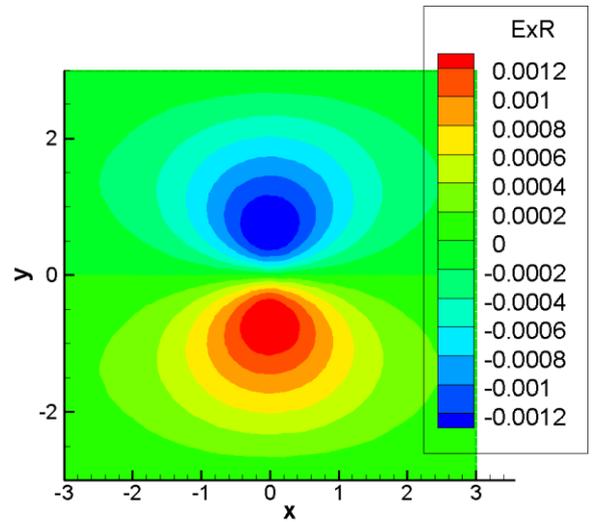
(с) Полученные результаты

Моделировалось гармоническое электрическое поле в околоскважинном пространстве с анизотропной вмещающей средой. Исследовалось влияние тензора электропроводности на электромагнитное поле. На рисунках приведены распределение напряженности электрического поля в сечении XOY ($z=-0.5$ м), проходящем на 0.5 метра ниже источника.

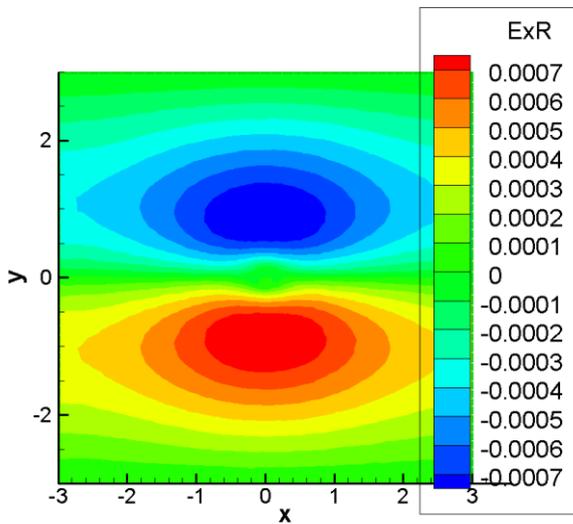
На рисунках 2 и 3 представлены действительные части компонент E_x и E_z напряженности электрического поля



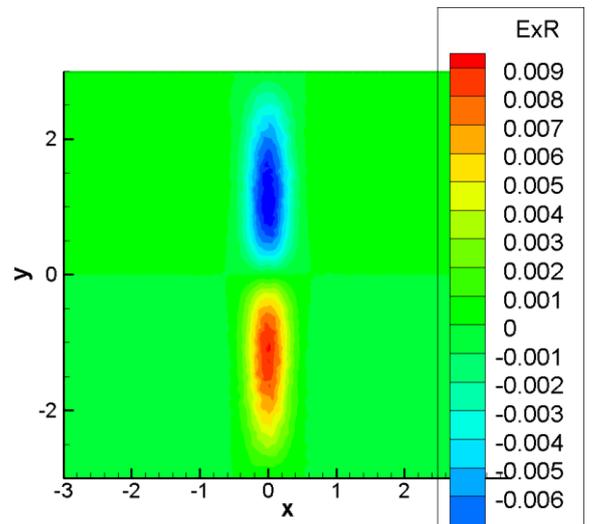
$$(a) - \sigma = \begin{pmatrix} 0.1 & 0 & 0 \\ 0 & 0.1 & 0 \\ 0 & 0 & 0.001 \end{pmatrix}$$



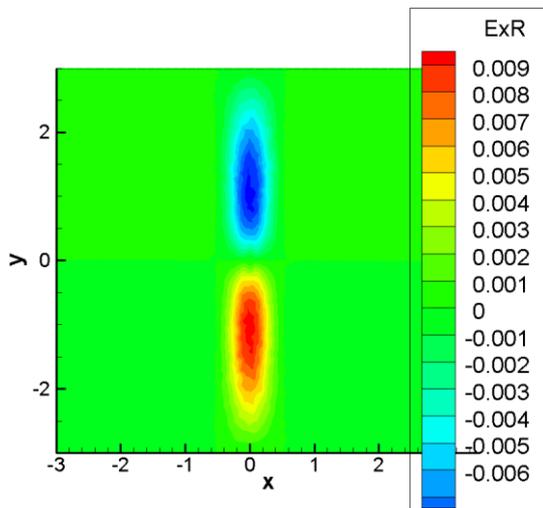
$$(b) - \sigma = \begin{pmatrix} 0.1 & 0 & 0 \\ 0 & 0.1 & 0 \\ 0 & 0 & 10 \end{pmatrix}$$



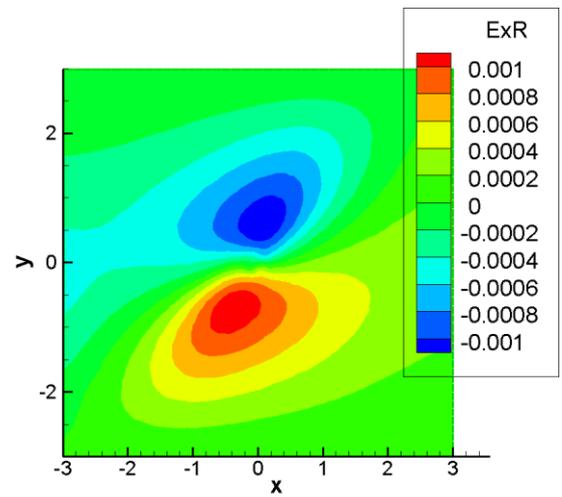
$$(c) - \sigma = \begin{pmatrix} 0.1 & 0 & 0 \\ 0 & 0.001 & 0 \\ 0 & 0 & 0.1 \end{pmatrix}$$



$$(d) - \sigma = \begin{pmatrix} 0.1 & 0 & 0 \\ 0 & 10 & 0 \\ 0 & 0 & 0.1 \end{pmatrix}$$

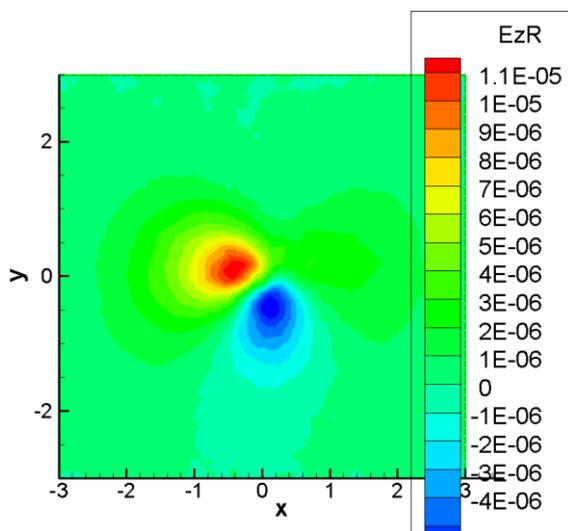


$$(д) - \sigma = \begin{pmatrix} 0.1 & 0 & 0 \\ 0 & 10 & 0 \\ 0 & 0 & 0.001 \end{pmatrix}$$

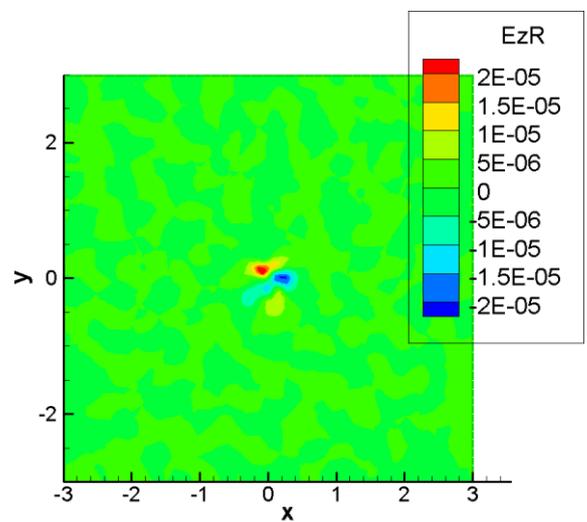


$$(е) - \sigma = \begin{pmatrix} 0.1 & 0.05 & 0.05 \\ 0.05 & 0.1 & 0 \\ 0.05 & 0 & 0.1 \end{pmatrix}$$

Рисунок 2 Напряженность электрического поля E_x в сечении расчетной области плоскостью XOY



$$(a) - \sigma = \begin{pmatrix} 0.1 & 0 & 0 \\ 0 & 0.1 & 0 \\ 0 & 0 & 0.001 \end{pmatrix}$$



$$(б) - \sigma = \begin{pmatrix} 0.1 & 0 & 0 \\ 0 & 0.1 & 0 \\ 0 & 0 & 10 \end{pmatrix}$$

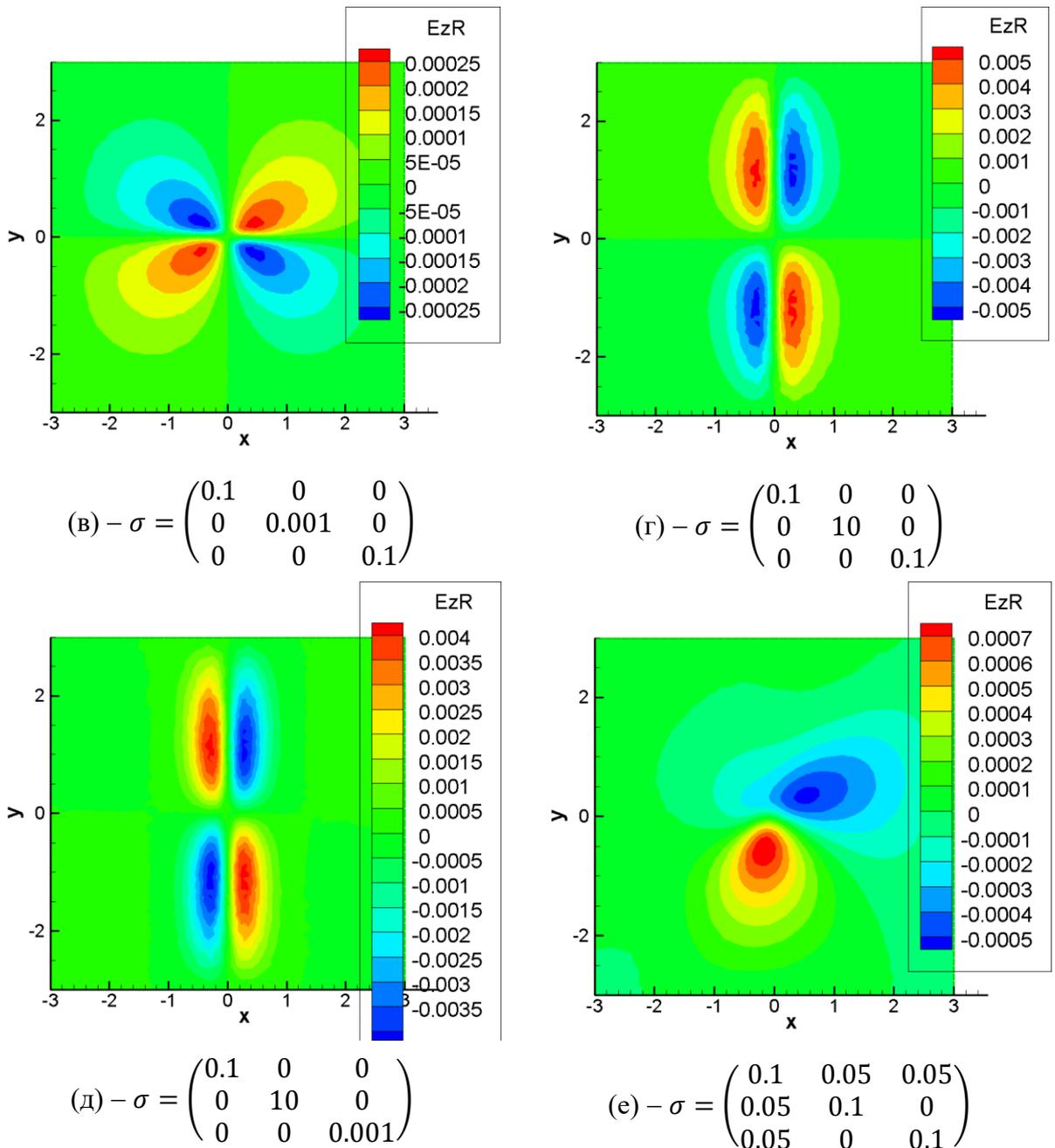


Рисунок 3 Напряженность электрического поля E_z в сечении расчетной области плоскостью $ХОУ$

Диагональные элементы тензора электропроводности влияют на напряженность электрического поля (поле сжимается либо растягивается в зависимости от соответствующего значения на диагонали тензора), причем элемент тензора σ_{zz} — влияет только на компоненту E_z , а σ_{xx} и σ_{yy} — влияют на все компоненты напряженности электрического поля

(d) Эффект от использования кластера в достижении целей работы

Без использования кластера решение поставленной задачи было бы неосуществимо.

6. Перечень публикаций

Шурина Э.П., Эпов М.И., Кутищева А.Ю., Добролюбова Д.В., Архипов Д.А. Неконформное конечноэлементное моделирование электромагнитных полей в гетерогенных средах [Электронный ресурс] // Марчуковские научные чтения 2020: Тезисы Международной конференции, посвященной 95-летию со дня рождения акад. Г.И. Марчука (г. Новосибирск, Академгородок, 19-23 октября 2020 г.). – 2020. – С. 71-71

Архипов Д.А., Шурина Э.П. Аппроксимация гармонических источников электромагнитного поля // Актуальные проблемы прикладной математики и механики: Тезисы докладов X Всероссийской конференции с международным участием, посвящ. памяти акад. А.Ф. Сидорова и 100-летию Уральского федерального университета. – 2020. – С. 10-11

7. Ваши впечатления от работы вычислительной системы и деятельности ИВЦ НГУ, а также Ваши предложения по их совершенствованию.

С появлением узлов с оперативной памятью 190 Гбайт, полностью перешел на ваш кластер и доволен его работой.