

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ РАН
НАУЧНЫЙ СОВЕТ РАН ПО ПРОБЛЕМАМ ГЕОЛОГИИ И РАЗРАБОТКИ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ НЕФТИ, ГАЗА И УГЛЯ



НОВЫЕ ВЫЗОВЫ ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ И ПРИКЛАДНОЙ ГЕОЛОГИИ НЕФТИ И ГАЗА – XXI ВЕК

Материалы Всероссийской научной конференции
с участием иностранных ученых, посвященной
150-летию академика АН СССР И.М. Губкина и
110-летию академика АН СССР и РАН А.А. Трофимука



ИНГГ
СО РАН

N* Новосибирский
государственный
университет
***НАСТОЯЩАЯ НАУКА**

14-15 сентября 2021 г., Новосибирск, Россия

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ РАН

НАУЧНЫЙ СОВЕТ РАН ПО ПРОБЛЕМАМ ГЕОЛОГИИ И РАЗРАБОТКИ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ НЕФТИ, ГАЗА И УГЛЯ

ИНСТИТУТ НЕФТЕГАЗОВОЙ ГЕОЛОГИИ И ГЕОФИЗИКИ ИМ. А. А. ТРОФИМУКА
НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

НОВЫЕ ВЫЗОВЫ ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ И ПРИКЛАДНОЙ ГЕОЛОГИИ НЕФТИ И ГАЗА – XXI ВЕК

Материалы Всероссийской научной конференции
с участием иностранных ученых, посвященной
150-летию академика АН СССР И. М. Губкина
и 110-летию академика АН СССР и РАН А. А. Трофимука

г. Новосибирск, 14–15 сентября 2021 г.

Новосибирск
2021

УДК 55:550.8+338.012(063)

ББК И36я431

Н766

Программный комитет конференции

Сопредседатели:

акад. РАН А. Э. Конторович, чл.-корр. РАН В. А. Каширцев

Члены программного комитета:

акад. РАН В. А. Верниковский, чл.-корр. РАН В. Н. Глинских, д-р техн. наук И. Н. Ельцов,
чл.-корр. РАН В. А. Конторович, канд. геол.-минерал. наук П. Н. Мельников,
канд. геол.-минерал. наук Т. М. Парфенова, д-р геол.-минерал. наук А. В. Ступакова,
акад. РАН М. П. Федорук, чл.-корр. РАН Б. Н. Шурыгин, акад. РАН М. И. Эпов

Организационный комитет:

Председатель: д-р техн. наук И. Н. Ельцов

Зам. председателя: канд. геол.-минерал. наук Т. М. Парфенова

Секретарь: канд. геол.-минерал. наук М. А. Фомин

Члены организационного комитета:

д-р геол.-минерал. наук Л. М. Буриштейн, д-р геол.-минерал. наук Д. В. Гражданкин,
канд. геол.-минерал. наук В. Д. Ермиков, чл.-корр. РАН И. Ю. Кулаков, д-р геол.-минерал. наук О. Е. Лепокурова,
д-р геол.-минерал. наук Д. В. Метелкин, д-р геол.-минерал. наук Б. Л. Никитенко,
канд. геол.-минерал. наук М. В. Соловьев, д-р экон. наук И. В. Филимонова

Н766 Новые вызовы фундаментальной и прикладной геологии нефти и газа — XXI век: Материалы Всерос. науч. конф. с участием иностранных ученых, посв. 150-летию акад. АН СССР И. М. Губкина и 110-летию акад. АН СССР и РАН А. А. Трофимука / Ин-т нефтегаз. геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН; Новосиб. гос. ун-т. Новосибирск : ИПЦ НГУ, 2021. — 276 с.

ISBN 978-5-4437-1248-2

Сборник содержит материалы докладов, представленных на Всероссийской научной конференции с участием иностранных ученых «Новые вызовы фундаментальной и прикладной геологии нефти и газа — XXI век», посвященной 150-летию академика АН СССР И. М. Губкина и 110-летию академика АН СССР и РАН А. А. Трофимука (Новосибирск, Россия, 14–15 сентября 2021 г.).

Открывает сборник письмо-приветствие президента РАН академика А. М. Сергеева и статья академика А. Э. Конторовича, в которой детально рассмотрен вклад в развитие нефтегазового комплекса Советского Союза и России двух выдающихся геологов-нефтяников XX века, академиков И. М. Губкина и А. А. Трофимука.

В докладах отражены современные теоретические и практические проблемы геологии нефти и газа. Внимание уделено вопросам общей и региональной геологии нефтегазоносных осадочных бассейнов, решению актуальных задач тектоники, седиментологии, литологии, палеогеографии, геохимии, стратиграфии и палеонтологии.

В публикациях обсуждаются новые результаты исследований в области органической геохимии и литологии черносланцевых комплексов, геохимии нефтей, гидрогеологии и гидрогеохимии нефтегазоносных бассейнов, углеводородного потенциала недр России и Беларуси. Серия работ посвящена моделированию нефтегазообразования в осадочных отложениях Сибири, методам компьютерного моделирования геологических процессов, оценке ресурсов и выявлению закономерностей размещения месторождений углеводородов.

В сборник включены доклады, направленные на обсуждение проблем экономики и экологии нефтегазовой отрасли. В ряде докладов представлены результаты изучения фильтрационных свойств обогатенных и обедненных органическим веществом пород, геофизических исследований скважин, новые геофизические методы поисков углеводородов.

Материалы конференции представляют интерес для специалистов-геологов широкого профиля, а также для преподавателей, аспирантов и студентов высших учебных заведений, специализирующихся в области наук о Земле.

УДК 55:550.8+338.012(063)

ББК И36я431

© Институт нефтегазовой геологии и геофизики
им. А. А. Трофимука СО РАН, 2021

© Новосибирский государственный
университет, 2021

ISBN 978-5-4437-1248-2

О ЕДИНОМ ПОДХОДЕ К ТРЕХМЕРНОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ СИГНАЛОВ ВИКИЗ, БК И БКЗ

О. В. Нечаев

*Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН
(ИНГГ СО РАН), г. Новосибирск*

Аннотация. В работе рассматривается единый подход к моделированию каротажных зондов, обладающих как стационарными, так и нестационарными источниками электрического поля. Данный подход позволяет осуществлять единую программную реализацию для различных методов каротажа.

Ключевые слова: Трехмерное численное моделирование, векторный метод конечных элементов, электрокаротаж, боковое каротажное зондирование, фокусированный боковой каротаж, высокочастотное индукционное каротажное изопараметрическое зондирование

ON A UNIFIED APPROACH TO THREE-DIMENSIONAL MODELING VIKIZ, LATEROLOG AND BKZ SIGNALS

O. Nechaev

*Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of IPGG SB RAS
(IPGG SB RAS), Novosibirsk*

Annotation. The paper considers a unified approach to modeling logging signals with both stationary and non-stationary electric field sources. This approach allows for a single software implementation for various logging methods.

Key words: Three-dimensional numerical modeling, vector finite element method, resistivity logging, Russian lateral logging, lateral logging, high-frequency induction isoparametric logging sounding.

Математическая модель, описывающая процесс каротажа в сложной по физическому и геометрическому строению трехмерной области, основывается на системе уравнений Максвелла. Воспользовавшись уравнениями состояния, из системы уравнений можно исключить вектора электрической и магнитной индукции, а также напряженность магнитного поля, в результате чего получается уравнение второго порядка относительно напряженности электрического поля. С использованием прямого преобразования Фурье по времени осуществляется переход из временной области в частотную. Для получения дискретного аналога исходной задачи используется векторный метод конечных элементов [1]. Полученная вариационная задача обладает важным свойством — ее решение удовлетворяет закону сохранения зарядов в слабом смысле. Это является важным фактором, позволяющим верно учитывать разрыв нормальных компонент электрического поля на границе различных сред. Также использование векторного

метода конечных элементов позволяет гарантировать непрерывность тангенциальных компонент поля на границе различных сред, и естественным образом учитывать анизотропию удельной проводимости среды.

Построение матрицы и правой части системы линейных уравнений осуществляется при помощи векторных базисных функций третьего порядка, определенных на тетраэдральной сетке [2]. Для улучшения спектральных свойств матриц, получаемых после дискретизации исходной задачи, можно ортогонализировать базисные функции, но полная ортогонализация привела бы к резкому увеличению количества ненулевых элементов матрицы. Векторные базисные функции высоких порядков могут быть ассоциированы с ребром, гранью или с самим тетраэдром. Это зависит от того, как определяется степень свободы конкретной базисной функции: интегралом вдоль ребра, интегралом по грани или интегралом по всему геометрическому элементу соответственно. Поскольку одно ребро, грань или элемент для базисов высоких порядков ассоциированы с несколькими функциями, это свойство используется в качестве разделителя на группы. Определение групп ортогонализации подобным образом не приводит к увеличению количества ненулевых элементов матрицы, а также к изменению ее портрета.

В данной работе базисные функции внутри одной группы ортогонализуются относительно билинейной формы, которая используется для построения вариационной постановки. Для решения системы линейных алгебраических уравнений предложен и реализован многоуровневый алгоритм, основанный на свойствах дискретного функционального пространства, которое используется для построения дискретной вариационной задачи. Как следует из проведенных вычислительных экспериментов, предложенный модифицированный алгоритм позволяет увеличить скорость решения системы линейных уравнений.

Предложенная выше вычислительная схема применима для моделирования сигналов каротажных зондов, использующих частотный источник тока, например, таких как зонды высокочастотного индукционного каротажного изопараметрического зондирования (ВИКИЗ), далее — первая задача. Интересной особенностью данной схемы является то, что она естественным образом модифицируется для моделирования сигналов зондов, источник поля у которых является стационарным, например, зондов бокового каротажного зондирования (БКЗ) и фокусированного бокового каротажа (БК), далее — вторая задача. Необходимо отметить, что в первом случае дифференциальным оператором является rot rot оператор, а во втором div grad оператор. Это становится возможным благодаря свойствам используемых для вариационной постановки функциональных пространств [3]. Использование иерархического базиса для дискретизации первой задачи позволяет получать матрицу для второй задачи в виде блока матрицы первой. При этом, если для первой задачи порядок аппроксимации приближенного решения является третьим, то для второй задачи порядок уже четвертый. Таким образом возможна единая программная реализация процесса построения матриц для этих двух задач, а также использование единого метода решения результирующих систем линейных алгебраических уравнений, характеризующимися различными типами источников.

Список литературы

1. Hiptmair, R. Finite elements in computational electromagnetism / R. Hiptmair // *Acta Numerica* 2002. Vol. 11. P. 237–339.
2. Webb, J. P. Hierarchical vector basis functions of arbitrary order for triangular and tetrahedral finite elements / J. P. Webb // *IEEE Transactions on Antennas Propagation* 1999. Vol. 47. P. 1244–1253.
3. Nedelec, J. C. A New Family of Mixed Finite Elements in $H(\text{rot}\Omega)$ / J. C. Nedelec // *Numerische Mathematik*. 1986. Vol. 50. P. 57–81.