

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

Кафедра геофизики

**«Оценка направленных свойств сложных интерференционных систем в  
профильных и площадных системах наблюдений при линейном  
группировании источников и приёмников упругих колебаний»**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

Студента 4 курса 403 группы  
направление 05.03.01 геология  
геологического ф-та  
Веселова Никиты Андреевича

**Научный руководитель**

К. г.-м.н., доцент

\_\_\_\_\_

подпись, дата

Э. С. Шестаков

**Зав. кафедрой**

К. г.- м.н., доцент

\_\_\_\_\_

подпись, дата

Е.Н. Волкова

Саратов 2017

**Введение. Актуальность работы.** Как известно, сейсморазведочные работы методом отраженных волн (МОВ) выполняются с применением группирования сейсмоприемников и очень часто – источников упругих колебаний. Группы источников и приёмников образуют интерференционные системы, а их совместное использование порождает сложные интерференционные системы.

Для описания свойств интерференционных систем используются частотная и энергетическая теории, в которых практически не разработана проблема оценки свойств сложных интерференционных систем. В рамках энергетической теории чаще всего решение её ищется в простом перемножении значений целевой функции – коэффициента направленного действия, определённых отдельно для групп источников и приемников по всем заданным волнам-помехам, что является существенным упрощением их реального взаимодействия.

На кафедре геофизики Саратовского государственного университета в течение ряда лет ведутся инициативные научно-исследовательские работы по развитию энергетической теории интерференционных систем. В ходе этих работ для оценки помехоустойчивости сложных интерференционных систем были разработаны программы расчёта коэффициента направленного действия для профильных и площадных систем при ортогональном положении линий приёма и линий возбуждения. Реализованные программы, несмотря на то, что решают задачи, для которых они разрабатывались, имеют ряд недостатков, основным из которых является низкий уровень интерфейса, что ограничивает их промышленное использование при решении реальных задач в процессе сейсморазведочных работ.

Исходя из написанного, **целью** данной работы является рассмотрение проблем оценки помехоустойчивости сложных интерференционных систем и разработка промышленной версии программного обеспечения.

В соответствии с поставленной целью решались следующие **основные задачи:**

- рассмотрение основ энергетической теории интерференционных систем;

- рассмотрение систем наблюдения метода отраженных волн и алгоритмов оценки помехоустойчивости сложных интерференционных систем в 2D и 3D системах наблюдений;
- разработка и опробование на полевом материале программ расчета коэффициента направленного действия.

При создании комплекса программ использовался код ранее написанных программ для расчета коэффициента направленного действия. Для опробования разработанного комплекса на полевом материале использовались данные, полученные после полученных после сейсморазведочных работ МОГТ-2D на Белогорском лицензионном участке, которые приведены в бакалаврской работе Горбунова Александра Николаевича, а также полученные после сейсморазведочных работ МОГТ-3D на Белебеевском месторождении, которые приведены в бакалаврской работе Наумова Валерия Михайловича.

Работа состоит из введения; 4 разделов: «Основы энергетической теории интерференционных систем», «Системы наблюдения МОВ. Алгоритмы оценки помехоустойчивости сложных интерференционных систем в 2D и 3D системах наблюдений», «Разработка программы расчета КНД для профильных и площадных систем наблюдения» и «Опробование программы на полевом материале»; заключения; списка используемых источников; 2 приложений; 28 рисунков и 1 таблицы. Общий объем работы, включая приложения, составляет 65 страниц.

## **Основное содержание работы.**

В 1 разделе работы «Основы энергетической теории интерференционных систем» указывается, что в описании свойств интерференционных систем широкое применение нашла энергетическая теория, оперирующая в привычной пространственно-временной области. В качестве целевой функции в ней используется коэффициент направленного действия, который представляет собой отношение энергии сигнала некоторой волны на выходе интерференционной системы к максимально возможной энергии выходного сигнала той же волны в той же системе.

Обосновывается применение импульса Пузырева для аппроксимация реальных сигналов в энергетической теории тем, что коэффициент направленного действия практически невозможно рассчитать, так как функция сигнала, необходимая для его расчета, неизвестна. Подстановка импульса Пузырева в выражение для коэффициент направленного действия позволяет получить его в явном виде (зависящим от параметров интерференционной системы и сигнала).

Указывается, что в качестве аргумента функции коэффициента направленного действия обычно используется безразмерное выражение  $\Delta t/T$  (или тождественное ему  $D/\lambda$ ), где  $\Delta t$  – величина максимального запаздывания в пределах рассматриваемой интерференционной системы, а  $T$  – величина преобладающего (видимого) периода импульса. В разделе приводится график коэффициента направленного действия, который исчерпывающим образом описывает направленные свойства одиночных интерференционных систем.

Указывается, что для описания сложных интерференционных систем на кафедре геофизики Саратовского государственного университета был разработан новый подход, заключающийся в замене сложной интерференционной системы одиночной линейной системой, эквивалентной ей по своим свойствам. Он основан на том, что интерференционные системы являются системами линейными, для которых справедлив принцип суперпозиции и вытекающий из него принцип взаимности. В разделе на примере сложной интерференционной системы, включающей группу из 5-ти приёмников и группу из 4-х источников, по-

казано формирование эквивалентной группы из 4-х групп приёмников по 5 элементов в каждой.

Излагается суть этого подхода, который состоит в выделении главной структуры интерференции идеально-регулярных волн, что позволяет для описания интерференционных систем использовать амплитудно-геометрический аналог, в котором каждый элемент интерференционной системы описывается значением его относительного удаления от источника колебаний и чувствительностью (интенсивностью излучения).

**Раздел 2** посвящен системам наблюдения МОВ и алгоритмам оценки помехоустойчивости сложных интерференционных систем в 2D и 3D системах наблюдений.

В разделе указывается, что направленные свойства интерференционных систем определяются их геометрией (числом элементов и распределением их на плоскости наблюдений), распределением чувствительности элементов, направлением распространения волны. Направление распространения и форма фронта волны определяются, главным образом, системой наблюдений.

Указывается, что в профильной сейсморазведке изучение волнового поля производится вдоль сейсмических профилей, представляющие собой прямые, реже ломаные, линии на поверхности Земли, вдоль которых расставлены сейсмоприемники для изучения сейсмических волн. Поясняется, что различают продольные профили, на которых сейсмоприемники и пункты взрыва располагаются на одной прямой, и непродольные профили, где сейсмоприемники располагаются на линии, не проходящей через пункт возбуждения.

Объясняется, что в основном сейсмические наблюдения ведутся на продольных профилях. Непродольные профили используются для изучения крутопадающих слоев и трассирования нарушений. С их помощью определяют только относительные превышения границ вдоль профиля. Поэтому они применяются в сочетании с продольными профилями.

Указывается, что в площадной сейсморазведке используются множество различных систем наблюдений. Наиболее часто применяется ортогональные,

вследствие технологичности и минимальной стоимости обработки. Поясняется, что такие системы представляют собой совокупность взаимно перпендикулярных линий наблюдения и возбуждения. Отмечается, что среди ортогональных наибольшее распространение получили центрально-симметричные системы наблюдений. В них блок наблюдений состоит из активной расстановки пунктов приема в виде нескольких параллельных линий наблюдения и активной расстановки пунктов возбуждения. Пункты возбуждения представляют собой одиночные или линейные групповые источники, ориентированные вдоль линии возбуждения.

На простом примере совместного использования линейных однородных групп сейсмоприёмников и источников, ориентированных вдоль продольного профиля объясняется алгоритм формирования амплитудно-геометрического аналога эквивалентной интерференционной системы. В данном примере указывается, что группы сейсмоприёмников (источников) описываются количеством приёмников или источников в группе, величиной базы группы приёмников или источников, по которым вычисляются максимальное количество элементов в эквивалентной интерференционной системе и шаг приёмников или источников в группах. Для всех элементов эквивалентной интерференционной системы определяются их номера, относительные удаления и чувствительности. Чувствительность  $n$ -ного элемента равна произведению интенсивности  $i$ -того источника на чувствительность  $j$ -того сейсмоприемника (в случае однородных групп источников и приёмников чувствительность всех элементов эквивалентной интерференционной системы будет равна условной 1).

Поясняется, что при кратных величинах шагов источников и приемников в группах будет наблюдаться совпадение относительных удалений нескольких элементов эквивалентной интерференционной системы. В этом случае они работают как один элемент с чувствительностью, равной сумме чувствительностей совпадающих элементов. Для упорядочения структуры амплитудно-геометрического аналога последовательно выполняется сортировка и объединение элементов по величине относительных удалений.

Обращается внимание на то, что при непродольном профилировании, которое является основой ортогональных 3D-систем наблюдения типа «крест» формирование амплитудно-геометрического аналога происходит несколько иначе, но в целом алгоритмы схожи и имеют общую основу.

Указывается, что построенный амплитудно-геометрический аналог используется для вычисления значения корня из коэффициента направленного действия для чего задаются параметры волны (кажущаяся скорость, частота и длительность импульса Пузырева). Вычисленные значения формируют матрицу, которую в дальнейшем можно использовать для построения графика в 2D системах или карт в 3D системах.

**В 3 разделе** описывается разработка программ расчета коэффициента направленного действия для профильных и площадных систем наблюдения.

Излагается история разработки программ и обосновывается выбор алгоритмического языка программирования.

Указывается, что к моменту написания бакалаврской работы основными из программ расчета коэффициента направленного действия, разработанных в ходе ранее упомянутых научно-исследовательских работ на кафедре геофизики Саратовского государственного университета, были KND\_SLIS\_2D\_graf, используемая для расчета коэффициента направленного действия в 2D системах наблюдения, и KND\_SLIS\_3D\_graf, используемая для расчета коэффициента направленного действия в 3D системах наблюдения. В дополнение к последней была разработана «КНД\_СЛИС\_3D\_карта».

Объясняется, что блок-схемы KND\_SLIS\_2D\_graf и KND\_SLIS\_3D\_graf состоят из 3-х служебных блоков (блок загрузки программы, блок декларации переменных, блок инициализации) и четырёх подпрограмм (подпрограммы расчета амплитудно-геометрического аналога, его визуализации на экране дисплея, расчёта таблицы коэффициента направленного действия и её визуализации). Служебные блоки необходимы для организации работы программы, подпрограммы реализуют общий алгоритм, рассмотренный ранее. Состав про-

граммы «КНД\_СЛИС\_3D\_карта» несколько отличается, но в целом почти идентичен.

Указывается, что в процессе написания бакалаврской работы автором был реализован комплекс CaDiFactor, который объединил в себе программы KND\_SLIS\_2D\_graf и «КНД\_СЛИС\_3D\_карта», переключение между которыми осуществляется выбором соответствующей закладки KND\_2D и KND\_3D.

Указывается, что для облегчения работы с программами KND\_2D и KND\_3D в их рабочие окна добавлена кнопка «Очистить дисплей», удаляющая весь текст из поля списка, кнопки + и –, которые регулируют размер шрифта выводимого текста в поле списка; горизонтальная полоса прокрутки поля списка; сгруппированные поля задания параметров теперь можно скрыть/показать при нажатии на названия групп; добавлена вертикальная полоса прокрутки к полю, расположенному в левой части рабочего окна и содержащему поля задания параметров; в KND\_3D добавлена возможность выбора вида распределения интенсивности излучения в группе источников. В KND\_2D добавлена возможность расчета корня из коэффициента направленного действия для выбранного фиксированного значения  $D/\lambda$ .

Обращается внимание на то, что для записи результатов счета в файл, которые потом можно использовать для построения карт или графиков значений корня из коэффициента направленного действия для конкретных волн-помех, в рабочие окна программ была добавлена специальная кнопка «Запись в файл», которая открывает стандартное диалоговое окно Windows для сохранения файлов.

Указывается, что в дополнение к комплексу CaDiFactor была реализована программа GraphLogSoft, позволяющая строить графики в билогарифмическом масштабе, с возможностью их распечатки на принтере.

**В 4 разделе** описываются результаты опробования разработанной программы на полевом материале.

Указывается, что для опробования разработанного комплекса CaDiFactor, были выбраны данные, полученные после сейсморазведочных работ МОГТ-2D

на Белогорском лицензионном участке и МОГТ-3D на Белебеевском месторождении.

Обращается внимание на то, что результаты расчета коэффициента направленного действия для профильных систем, полученные при применении комплекса CaDiFactor, полностью совпадают с результатами, полученными в программе KND\_SLIS\_2D\_graf.

Указывается, что результаты расчета коэффициента направленного действия для площадных систем, с помощью программы «КНД\_СЛИС\_3D\_карта», также полностью совпадают с результатами, полученными в комплексе CaDiFactor.

**Заключение.** В работе были рассмотрены основы энергетической теории интерференционных систем и системы наблюдения метода отраженных волн, среди которых в профильной сейсморазведке чаще всего применяют продольные профили, а в площадной ортогональные системы наблюдения, в частности центрально-симметричные типа «крест».

Также в работе рассмотрены алгоритмы оценки помехоустойчивости сложных интерференционных систем в 2D и 3D системах наблюдений. Данные алгоритмы были положены в основу разработанных ранее программ, которые вполне справлялись с поставленными перед ними задачами, но имели целый ряд недостатков. В процессе написания данной работы был разработан комплекс программ CaDiFactor, призванный их исправить, что позволит использовать его при решении реальных задач в процессе сейсморазведочных работ. Опробование комплекса на полевых материалах, полученных при проведении сейсморазведочных работ МОГТ-2D на Белогорском лицензионном участке и сейсморазведочных работ МОГТ-3D на Белебеевском месторождении, показало, что результаты расчета коэффициента направленного действия, необходимые для оценки помехоустойчивости сложных интерференционных систем в 2D и 3D системах наблюдений, при использовании комплекса CaDiFactor абсолютно такие же, как и при использовании ранее разработанных программ.

Стоит отметить, что разработанную в дополнение к данному комплексу программу GraphLogSoft, с помощью которой можно строить графики в логарифмическом масштабе с дальнейшей их распечаткой, можно будет использовать не только для построения графиков корня из коэффициента направленного действия, но и для любых других, в частности для графиков распределения по глубине кажущегося сопротивления, необходимых для интерпретации данных вертикального электрического зондирования, применяемого в электро-разведке.