

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

Кафедра геофизики

**«МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ  
ЭФФЕКТОВ В ВИБРОСЕЙСЕ»**

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА  
(автореферат)

Студента 4 курса 403 группы  
направления 05.03.01 геология  
геологического ф-та  
Григорьева Александра Николаевича

**Научный руководитель**

доктор геол.- мин.наук, профессор \_\_\_\_\_ С.И. Михеев  
подпись, дата

**Зав. кафедрой**

кандидат геол.- мин.наук, доцент \_\_\_\_\_ Е.Н. Волкова  
подпись, дата

Саратов 2016

## **Введение**

До недавнего времени слово «нелинейность» практически не встречалось ни в сейсморазведке, ни в сейсмологии. Это происходило не оттого, что нелинейные явления не наблюдались, а скорее от того, что по существовавшему мнению нелинейные эффекты выражены слабо, и в подавляющем большинстве случаев линейная сейсмика дает достаточно полное и правильное описание процесса. Вместе с тем сейсморазведка встретила с рядом явлений, которые никак не могли быть объяснены с позиции линейной теории распространения волн. К таким явлениям относятся так называемые волны-гармоники, которым и посвящена настоящая работа. Данные волны могут рассматриваться либо как помехи, либо как источник дополнительной информации. Соответственно целью выпускной работы было исследование искажающего влияния нелинейных волн на результаты вибрационной сейсморазведки, а также изучение возможностей выделения этих волн по записям МОГТ как источника дополнительной информации о строении среды.

Достижение поставленной цели базировалось на решении следующих основных задач:

1. Сбор, обобщение и анализ архивных и опубликованных геолого-геофизических материалов по нелинейной вибросейсморазведке.
2. Моделирование корреляционного преобразования виброграмм при наличии волн-гармоник.
3. Анализ искажающего влияния волн-гармоник на результаты корреляционного преобразования.
4. Анализ возможности учета волн-гармоник с целью повышения информативности вибросейса.

Актуальность выполненных исследований определяется тем, что они основаны на современных нелинейных моделях сред, позволяют учесть ранее

не использованные в практике явления и процессы и за счет этого повысить информативность данных сейсморазведки.

Моделирование осуществлялось с помощью научной программы TSVIP (разработка Михеева С.И.).

Материалы для подготовки выпускной работы собраны в АО Нижневолжском НИИ Геологии и геофизики. Ранее на данном предприятии было реализовано три научные темы, направленные, в том числе, на изучение нелинейных волн. В настоящее время такие работы проводятся в инициативном порядке.

# **1 ОБЗОР ТЕОРЕТИЧЕСКИХ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ О НЕЛИНЕЙНЫХ ЯВЛЕНИЯХ В СЕЙСМОРАЗВЕДКЕ**

Уникальные возможности виброисточника как инструмента научных исследований сделали его практически незаменимым в ряде исследовательских работ в области сейсмологии и сейсморазведки. В последнее время были предприняты попытки исследования с помощью виброисточников нелинейных явлений процесса вибрационного излучения и распространения сейсмических волн в геологической среде. Получен ряд интересных результатов. Однако, как показывает практика, постановка подобных экспериментов требует учета нелинейных свойств самого источника.

Нелинейным представлениям сейсморазведки стали уделять внимание лишь в последние годы так как многие из наблюдаемых в экспериментах явления невозможно описать теорией линейных систем. В наиболее употребляемом сейчас методе сейсморазведки - виброрейсе, такие явления проявляются в форме волн - гармоник, повторных ударов, появляющиеся в спектре регистрируемых колебаний гармоник низкой частоты. Эти явления объясняются либо процессами в источнике, в том числе в системе вибратор - грунт, либо процессами возникающими в разрезе при распространении упругих волн. Оба этих подхода отражены далее в тексте.

## **1.2 Основы теории нелинейных явлений**

Линейность можно определить как справедливость принципа суперпозиции, гласящего, что результат суммы воздействий на систему равен сумме результатов отдельных воздействий. Нелинейность – это свойство процесса, выражающееся в отрицании суперпозиции: результат суммы воздействий на систему не равен сумме отдельных воздействий. Это надо понимать широко: воздействия могут быть сейсмические, электрические, деформационные и другие; нелинейность предполагает как «самовзаимодействие», так и взаимодействие процессов различной природы,

формирование сложных «цепей» взаимодействий, охватывающих связями, как различные геофизические поля, так и процессы, протекающие в разных земных сферах.

Нелинейность физических характеристик горных пород проявляется, проявляющаяся, прежде всего, в виде сильной чувствительности упругих и электрических свойств к внешним воздействиям – напряжениям (тензочувствительность), сейсмическим вибрациям (виброчувствительность), электрическому полю (электрочувствительность).

## **2.2 Состав и содержание выполненных экспериментов**

Перед описанием полученных результатов подчеркнем, что назначение проведенных экспериментов было различным. С содержательных позиций ставились 2 задачи:

- Исследование искажающего влияния гармоник и субгармоник при выполнении стандартного корреляционного преобразования, когда наличие этих составляющих волнового поля не учитывается и рассматривается как мешающий фактор;
- Исследование возможности выделения волн-гармоник и субгармоник. В данном случае указанные волны рассматривались не как помехи, а как источник дополнительной информации.

Содержание и заданные параметры вибрационных сигналов в выполненных экспериментах показано в таблице 2.1. В столбце «Примечание» указаны задачи, решаемые тем или иным из экспериментов.

**Таблица – 2.1 Содержание выполненных экспериментов**

№ эксперимента	Основной свип-сигнал (ОС)				Гармоника 1 (Г1)				Гармоника 2 (Г2)				Примечание
	Т, с	F <sub>н</sub> , Гц	F <sub>к</sub> , Гц	A	Т, с	F <sub>н</sub> , гц	F <sub>к</sub> , Гц	A	Т, с	F <sub>н</sub> , Гц	F <sub>к</sub> , Гц	A	
1	5	10	100	1	5	20	200	1	-	-	-	-	Исследование влияния 1-ой гармоники если ее не учесть (коррелировать с основным сигналом)
2	10	10	100	1	10	20	200	1	-	-	-	-	-----,, ----- -----

### 2.3 Результаты анализа данных моделирования

В ходе вычислительных экспериментов задавались вибрационные сигналы, описанные в табл. 2.1, и осуществлялись различные варианты корреляционного преобразования.

Остановимся далее на описании основных результатов выполненных при подготовке выпускной работы экспериментов.

Первой из решенных частных задач было получение эталона результата корреляционного преобразования виброграмм. За такой эталон при изучении искажений основного сигнала при наличии гармоник принимались результаты стандартного корреляционного преобразования, когда заданный

сви́п коррелировался сам с собой. Тем самым моделировались результаты общепринятого корреляционного преобразования. На рисунке 2.2 приведён результат такого корреляционного преобразования для линейного частотно-модулированного сви́п-сигнала с  $F_H=10$  Гц,  $F_K=100$  Гц и  $T=5$  с.

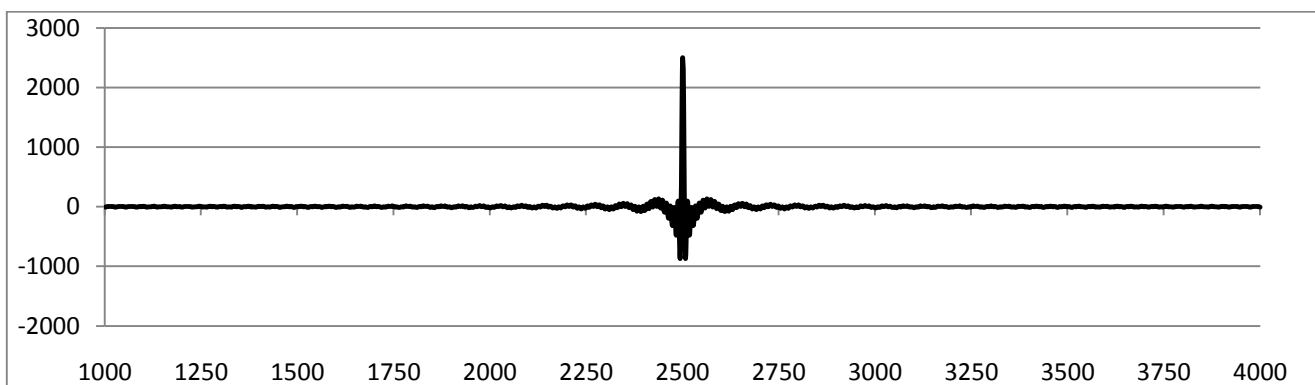


Рис.2.2.Результат стандартного корреляционного преобразования для сви́п-сигнала с  $F_H=10$  Гц,  $F_K=100$  Гц,  $A=1$ ,  $T= 5$  с. (эталон для сравнения).

На рисунке 2.2 видно, что даже для относительно простой «эталонной» ситуации, когда помехи отсутствуют, помимо основного максимума на графике сигнала, полученного в результате корреляционного преобразования, наблюдаются побочные максимумы. Их обычно называют корреляционным шумом и рассматривают в вибросейсмозондировании как осложняющий фактор.

Амплитудно-частотный спектр результата описываемого корреляционного преобразования показан на рисунке 2.3. Его форма сильно изрезана. В области начальной частоты (10Гц) и конечной частоты (100Гц) он осложнен высокоамплитудными локальными максимумами.

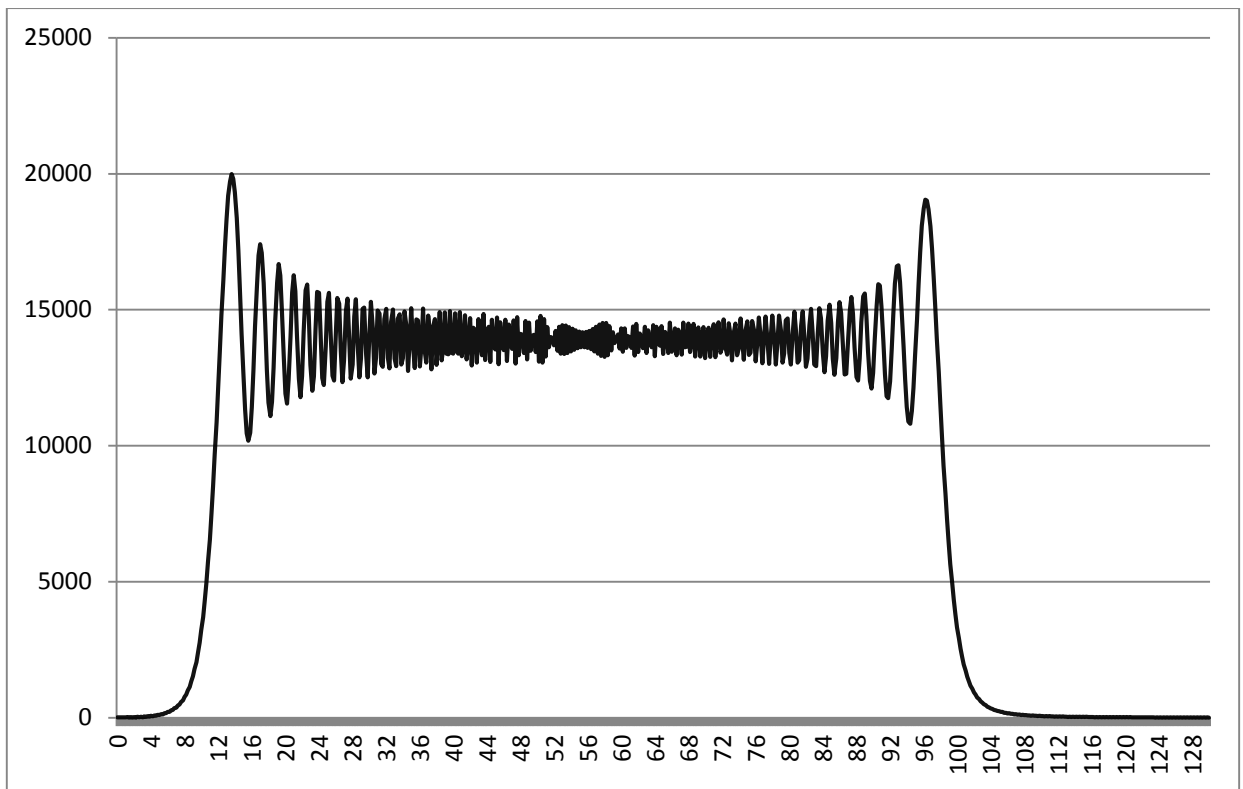


Рисунок - 2.3 Амплитудно-частотный спектр результата стандартного корреляционного преобразования для свип-сигнала с  $F_H=10$  Гц,  $F_K=100$  Гц,  $A=1$ ,  $T=5$  с.

**Эксперименты по изучению искажающего влияния нелинейных волн на результаты стандартного корреляционного преобразования.**

Данные эксперименты описаны в таблице 1.1 под номерами №№ 1, 4, 7, 50. В них корреляция сумм основного сигнала и сигналов волн-гармоник осуществлялась с основным сигналом.

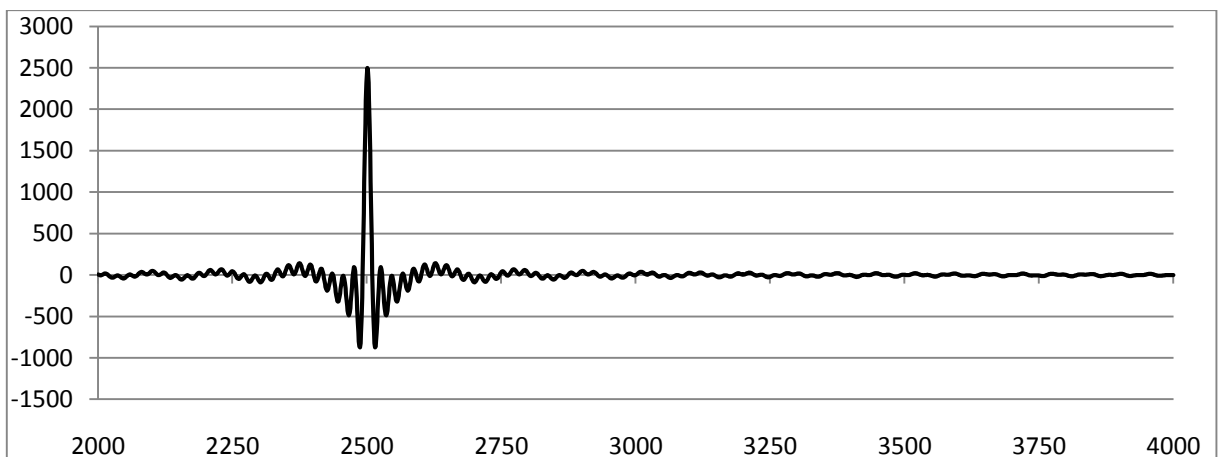




Рисунок - 2.4 Результат корреляционного преобразования виброграммы в эксперименте 1 ( $A=1$ ,  $F_H = 10$  Гц,  $F_K = 100$  Гц,  $T=10$  с, наряду с заданным свипом присутствует гармоника с удвоенной частотой)

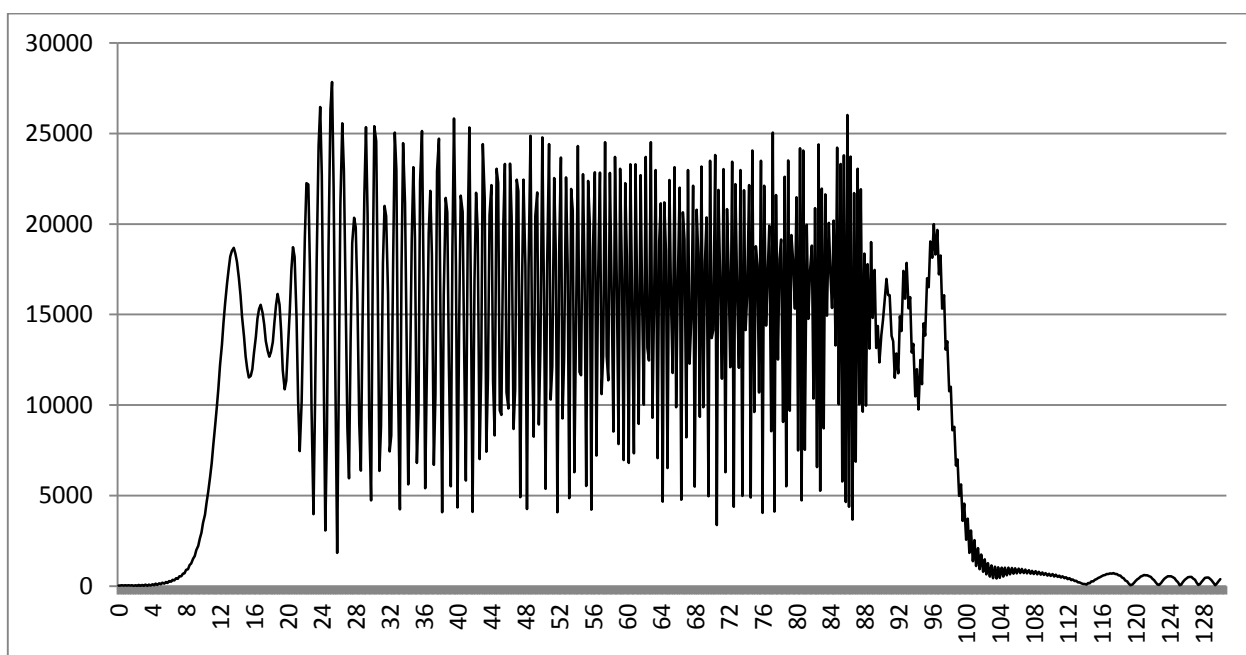


Рисунок - 2.5 Амплитудно-частотный спектр результата корреляционного преобразования в эксперименте №1 ( $A=1$ ,  $F_H = 10$  Гц,  $F_K = 100$  Гц,  $T=10$  с, наряду с заданным свипом присутствует гармоника с удвоенной частотой)

Визуальный анализ рисунков 2.4- 2.9 свидетельствует о том, что наличие волн-гармоник и субгармоник при общепринятом корреляционном преобразовании ведет к появлению интенсивных квазисинусоидальных помех, регистрирующихся вслед за основным максимумом функции взаимной корреляции(см. рисунки 2.4, 2.6, 2.8). Такие помехи особенно интенсивны при одновременном наличии гармоник с удвоенной и утроенной частотой (см. рисунок 2.8). Наблюденный эффект нигде в опубликованной литературе не отмечался.

## Эксперименты по изучению возможности выделения нелинейных волн-гармоник

В этих экспериментах изучалась возможность выделения нелинейных волн с удвоенной (эксперименты №№ 10 , 31 —39) и утроенной (эксперименты №№ 13—15) частотами. На рисунке 2.10 в качестве примера приведен результат эксперимента № 10. В нем задавался основной сигнал с  $F_n=10$  Гц,  $F_k=100$  Гц,  $T=5$  с,  $A=1$  и волна-гармоника с  $F_n=20$  Гц,  $F_k=200$  Гц,  $T=5$  с,  $A=1$ . Выделялся сигнал второй гармоники с удвоенной частотой (осуществлялась корреляция суммы основной сигнал + гармоника с удвоенной по отношению к основному сигналу частотой с гармоникой).

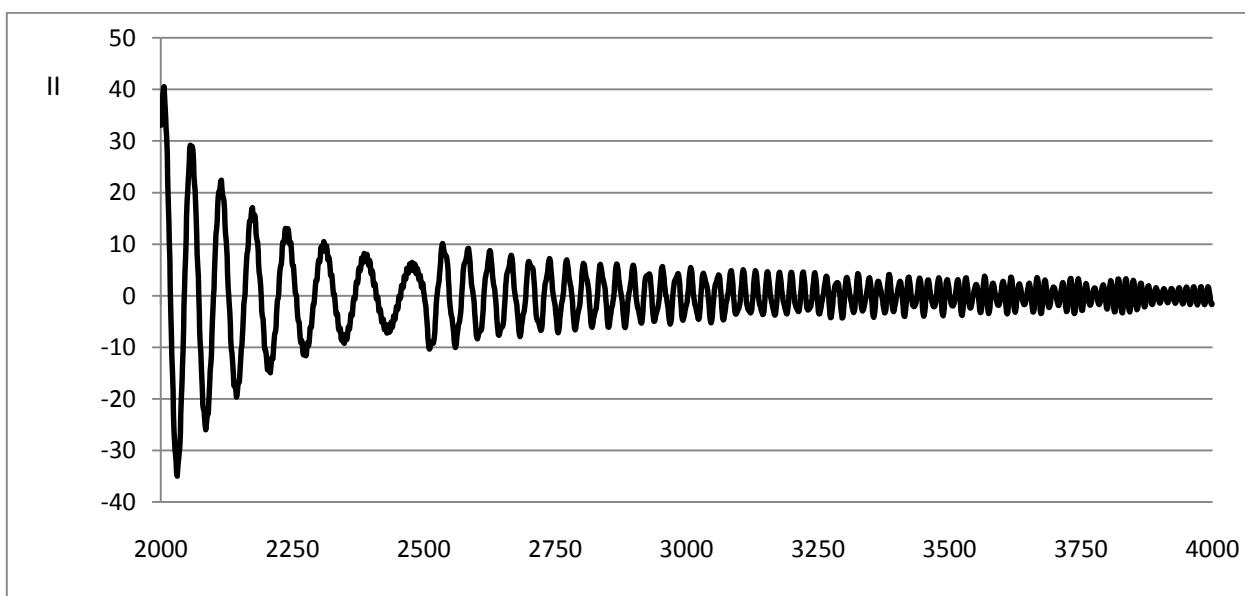
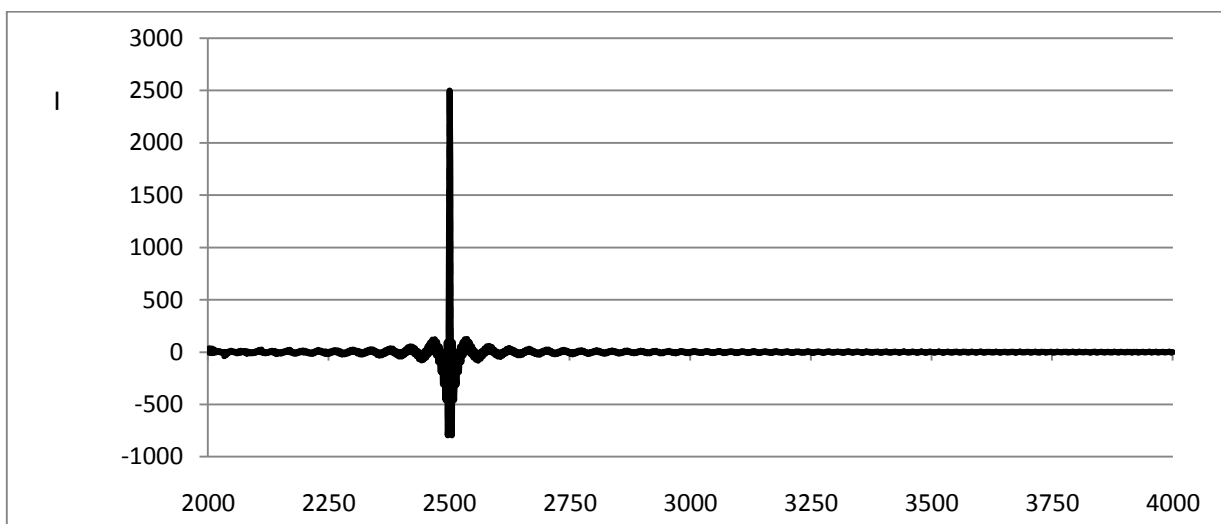


Рисунок - 2.10 Результат корреляционного преобразования виброграммы, полученной суммированием основного сигнала +гармоника с удвоенной по отношению к основному сигналу частотой с гармоникой (Эксперимент 10). I - совмещенные графики ФВК, II - график разности значений ФВК

Таким образом, полученные результаты моделирования, с одной стороны, показывают возможность уверенного выделения волн-гармоник, с другой стороны, возможные осложнения при их практическом использовании как источника дополнительной информации, связанные с возникновением специфических квазисинусоидальных шумов, возникающих вблизи основного максимума функции автокорреляции.

## **Заключение**

Из результатов анализа полученных в ходе вычислительных экспериментов данных следует, что присутствие в модели виброграмм волн-гармоник приводит к значительным искажениям результатов стандартного корреляционного преобразования во временной (коррелограммы) и спектральной областях. Такие искажения определяются, в первую очередь, сильной хаотичной изменчивостью амплитуд гармоник.

По результатам выполненных вычислительных экспериментов показана также возможность уверенного выделения волн-гармоник. Одновременно установлены возможные осложнения при их практическом использовании как источника дополнительной информации, связанные с возникновением специфических квазисинусоидальных шумов, возникающих вблизи основного максимума функции автокорреляции.

На момент завершения подготовки бакалаврской работы исследования окончились визуальным анализом вычисленных коррелограмм и спектров. В качестве одного из основных направлений последующих исследований предлагается вычисление и анализ количественных показателей: коэффициентов корреляции и среднеквадратических расхождений коррелограмм и спектров.

Надеюсь, что полученные во время подготовки настоящей работы данные будут учтены при последующих исследовательских работах с учетом нелинейных эффектов вибрационной сейсморазведки.