

ОТЗЫВ официального оппонента

на диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук Ван Жуйчжэ на тему: «Повышение эффективности вибрационной сейсморазведки на основе оптимизации управляющих свип-сигналов» по специальности 1.6.9. Геофизика

Диссертационная работа Ван Жуйчжэ посвящена проблеме оптимизации управляющих вибросейсмических сигналов. При этом основное внимание автор уделяет исследованию псевдослучайных сложных сигналов. В настоящее время практически все системы управления современных вибросейсмических комплексов позволяют возбуждать случайные сигналы типа Random. Основная особенность развёрток Random заключается в том, что мгновенная частота для них изменяется в заданной полосе частот в соответствии со случайным законом. Поэтому указанные сигналы отличаются повышенной скоростью изменения частоты в развёртке, и в этой связи элементы конструкций зданий и сооружений, находящихся в непосредственной близости от пунктов возбуждения, не успевают войти в резонанс, что позволяет существенно снизить опасность их разрушения. Однако, несмотря на очевидные преимущества сигнала Random, он отличается чрезвычайно высокими амплитудами корреляционного фона и соответственно низкими значениями динамического диапазона корреляционного преобразования, не превышающими 20-24 дБ, и поэтому при проведении вибросейсмических наблюдений практически не используется.

В данной работе предложены и проанализированы различные варианты псевдослучайных развёрток, позволяющие снизить опасность разрушения зданий и сооружений при проведении вибросейсмических работ, однако в отличие от сигнала Random, характеризующиеся относительно низким уровнем корреляционного фона. В этой связи **проведённые исследования, безусловно, актуальны** поскольку в настоящее время многие территории, на

которых располагаются посёлки, города, промышленные и другие аналогичные объекты, остаются не исследованными сейсморазведкой из-за вполне обоснованных опасений разрушения зданий и сооружений при проведении вибросейсмических наблюдений, с учётом достаточно высокой мощности современных излучателей. Более того, в настоящее время заказчики проведения вибросейсмических исследований всё чаще указывают на необходимость использования, например, таких технологий, как «Independent Simultaneous Sweeping» (ISS) или «slip-sweep», позволяющих одновременно отрабатывать два или несколько пунктов возбуждения и таким образом существенно повышать производительность полевых наблюдений. Для реализации таких способов необходимо свести к минимуму взаимное влияние волновых полей, одновременно возбуждаемых различными группами вибраторов. Наиболее успешно такая задача решается с применением псевдослучайных развёрток, что **дополнительно повышает актуальность выполненной работы.**

Диссертация Ван Жуйчжэ состоит из введения, четырёх глав и заключения. Список статей, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, содержит 4 источника.

Результатом выполненных исследований являются четыре защищаемых научных положений, доказательства которых содержатся в разных главах диссертации. При этом доказательства достоверности защищаемых положений осуществлялись на основании проведённых модельных исследований, а также по результатам полевых сейсмических наблюдений, выполненных с использованием электромеханического вибратора.

В частности, были проведены опытно-методические исследования в пределах Астраханского газоконденсатного месторождения. В данном эксперименте оценивалась сравнительная эффективность вибросейсмических ЛЧМ-сигналов, высокочастотных нелинейных развёрток, аномально

низкочастотных развёрток с минимальной частотой 3 Гц (Low-dwell) и широкополосных сигналов (BROADSWEEP), включающих, как алгоритм формирования аномально низких частот, так и высокочастотную нелинейную развёртку. Полученные вибросейсмические материалы сопоставлялись с записями, зарегистрированными от буровзрывного источника (масса заряда ВВ 0,8-1,2 кг, глубина погружения 23 м). На основании сравнительного анализа сейсмограмм и соответствующих временных разрезов был сделан вывод о том, что в конкретных условиях наибольшую эффективность обеспечивает широкополосный вибросейсмический сигнал BROADSWEEP, позволяющий увеличить глубину зондирования и повысить разрешающую способность метода. Более того, автором было отмечено, что в условиях Астраханского месторождения вибросейсмический способ не уступает технологии с использованием буро - взрывного метода.

По результатам проведённых таким образом опытно-методических исследований автор составил **представление о первом защищаемом положении, которое было сформулировано следующем образом:**
«Применение нелинейных свип-сигналов способствует улучшению визуализации соляных куполов и повышению достоверности интерпретации на Астраханском месторождении по сравнению с результатами, полученными при использовании взрывных источников».

В соответствие со вторым защищаемым положением в диссертации указывается, что три новых предложенных автором варианта псевдослучайных сигналов, обладают лучшими характеристиками по сравнению с ЛЧМ-сигналом и сигналом типа Random.

Для формирования псевдослучайных развёрток использовался либо моночастотный гармонический сигнал, либо ЛЧМ-сигнал. При этом каждый период или полупериод таких сигналов рассматривались, как независимые сегменты с полярностью, определяемой М-последовательностью.

Первая из предложенных развёрток (**Sinehalf**) формировалась на основе моночастотного гармонического сигнала путем изменения полярности полупериодов в соответствии с законом М-последовательности. Вторая псевдослучайная развёртка (**Linfull**) была получена из ЛЧМ-сигнала путем изменения полярности сегментов полного периода также в соответствии с законом М-последовательности. И третий тип развёртки (**Linhalf**) был сгенерирован аналогично второму, но с изменением полярности полупериодов. Доказательство достоверности по второму защищаемому положению было выполнено на основании проведения модельных исследований. Достаточно убедительно было показано, что по сравнению с ЛЧМ-сигналом и сигналом Random существенно ослабить уровень корреляционного фона представляется возможным путём использования псевдослучайных сигналов **Sinehalf** и **Linhalf**. Вместе с тем развёртка **Sinehalf** позволяет не только многократно уменьшить уровень корреляционного фона, но и улучшить динамику главных максимумов корреляционных функций (рис. 10 в автореферате). В этой связи следовало бы скорректировать формулировку второго защищаемого положения, указав на целесообразность в практической работе использовать именно развёртки **Sinehalf**, т.е. моночастотные гармонические сигналы, включающие возможность изменения полярности полупериодов.

По третьему защищаемому положению в диссертации отмечается, что реальные сейсмические записи, полученные с применением электромеханического вибратора и при использовании в качестве управляющих сигналов новых, предложенных автором, псевдослучайных развёрток, характеризуются более низким уровнем корреляционного фона и более широким спектром. Такое защищаемое положение убедительно подтверждается путём сравнительного анализа исходных сейсмограмм и временных разрезов, полученных с использованием электромеханического вибратора. Выполненный на

основании полевых исследований сравнительный анализ эффективности различных развёрток, вполне согласуется с выводами, сделанными по результатам проведённого моделирования и указывает на целесообразность в практической работе использовать именно развёртку **Sinehalf**. При этом, важно отметить, что такие развёртки позволяют в определённой степени управлять спектром возбуждаемых колебаний. Действительно, по мере уменьшения частоты гармонического сигнала, на основе которого рассчитывалась такая псевдослучайная развёртка, повышается уровень низкочастотных гармоник. И, наоборот, при увеличении частоты сигнала увеличивается вес высокочастотных гармоник.

Четвёртое защищаемое положение сформулировано следующим образом: «Новые, предложенные псевдослучайные вибросейсмические сигналы позволяют повысить достоверность и глубинность при исследовании верхней части разреза при реализации методики многоволновой сейсморазведки». Доказательства достоверности этого положения были получены по результатам полевых вибросейсмических наблюдений, выполненных вдоль кампуса РУДН с использованием электромеханического вибратора. Система наблюдений отработывалась как с возбуждением продольных колебаний, так и колебаний с поперечной поляризацией. При этом было показано, что независимо от типа поляризации возбуждаемых колебаний, значительно более высокое качество материалов обеспечивает псевдослучайная развёртка **Sinehalf** с частотой гармонического сигнала 50 Гц. Разрезы, построенные с использованием таких сигналов, характеризовались более высокой четкостью и глубинностью.

Что касается замечаний по диссертации. На мой взгляд, автор в некоторых случаях несколько формально подошёл к вопросу сравнительной эффективности сопоставляемых сигналов. Так, например, на основании полевых исследований, проведённых на Астраханском месторождении, было отмечено, что при использовании буровзрывного источника наблюдалась

значительная потеря как низкочастотных, так и высокочастотных гармоник, а эффективная ширина спектра колебаний и разрешающая способность метода заметно уступали вибросейсмическим записям, даже полученным с использованием ЛЧМ-сигналов. Такой результат противоречит весьма обширному на сегодня опыту. Тем более, что не сложно расчётным путём показать, что при использованных в данном случае параметрах взрывного источника, частотная характеристика очага взрыва будет достаточно широкополосной. Поэтому для большей убедительности достоверности первого защищаемого положения в диссертации следовало бы представить и физическое обоснование полученного результата.

Во втором защищаемом положении указывается, что предложенные псевдослучайные сигналы, отличаются лучшими характеристиками по сравнению с ЛЧМ-сигналом и сигналом Random. В третьем же защищаемом положении формулируется практически тоже самое: «Предложенные псевдослучайные развёртки характеризуются более низким уровнем корреляционного фона и более широким спектром». В этой связи второе и третье защищаемые положения логично было бы объединить.

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует специальности 1.6.9. Геофизика, а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова. Диссертационное исследование оформлено согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Таким образом, соискатель Ван Жуйчжэ заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.6.9. Геофизика.

Официальный оппонент:

доктор технических наук, заместитель генерального директора по научной работе ООО «Новоросморгео»

КОСТРЫГИН Юрий Петрович

(подпись)

25.09.2025 г.

Контактные данные:

тел.: + [redacted] и

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация: 25.00.10. Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых.

Адрес места работы: 353900, г. Новороссийск, Октябрьская площадь, дом 1, корпус 2, оф. 45.

Тел.: + [redacted] и

Подпись сотрудника ООО «Новоросморгео» Юрия Петровича Кострыгина удостоверяю: главный специалист отдела кадров

П.Г.Кузьмин