

**ГОМЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ им. П.О. Сухого**

*УДК 550.834: 681.532.1*

**Храбров Евгений Александрович**

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМ ГРУППОВОГО ЗАПУСКА  
И СИНХРОНИЗАЦИИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВИБРАТОРОВ  
ПРИ РАЗВЕДКЕ НЕФТИ И ГАЗА**

05.09.03 - Электротехнические комплексы и системы,  
включая их управление и регулирование

Автореферат диссертации на соискание ученой  
степени кандидата технических наук

Гомель 1999

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. В "Программе ускорения геолого-разведочных работ по развитию минерально-сырьевой базы Республики Беларусь на 1996 - 2000 годы", разработанной Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды совместно с Национальной академией наук Беларуси, Министерством экономики, Министерством финансов, другими заинтересованными органами, и одобренной Постановлением № 770 правительства Республики Беларусь 29 ноября 1996 г., указано следующее:

"В целях стабилизации, а затем дальнейшего подъема экономики Республики Беларусь государственная политика в сфере пользования недрами должна ориентироваться на максимальное повышение уровня обеспечения промышленности собственными минерально-сырьевыми ресурсами, их рациональное и комплексное использование с наименьшими вредными воздействиями на окружающую среду и человека. Для решения этой задачи предусмотрено сконцентрировать геолого-разведочные работы и усилия науки, сопровождающей геолого-разведочное производство, на важнейших направлениях. Для научного обеспечения и сопровождения геолого-разведочных работ следует разработать прогрессивные геологические и геофизические методы, технические, программные средства и методы прогноза, поисков, разведки и пробной эксплуатации месторождений нефти и газа."

Актуальность и необходимость применения геофизических методов разведки нефти и газа подтверждается тем обстоятельством, что более 90% всех затрат перед бурением скважин приходится на геофизическую подготовку, причем более трети из них составляют полевые сейсморазведочные работы с применением вибрационных источников сейсмических сигналов. Из мировой практики известно, что из четырех пробуренных на нефть и газ скважин лишь одна оказывается продуктивной. Если учесть, что каждая скважина обходится примерно в 1млн. долл. США, то становится очевидной актуальность исследовательских работ, направленных на повышение эффективности вибрационной сейсморазведки. Применение современных сейсмических вибраторов при разведке нефти и газа связано с необходимостью получения сейсмических сигналов в широкой полосе частот от 5 до 250 Гц. При этом достаточного уровня энергии сигналов, позволяющего выделять их на фоне шумов, достигают путем группирования синхронно работающих вибраторов с накоплением данных от нескольких повторных воздействий на грунт на каждой физической точке излучения сейсмических волн.

Синхронность работы всех вибраторов в группе и синхронизация их с опорным сигналом, формируемого на сейсмостанции, обеспечивается, в первую очередь, за счет синхронного запуска начала работы всех вибраторов группы с помощью радиосигнала, посылаемого с сейсмостанции. От точности и надежности работы системы запуска каждого вибратора зависит эффективность работы всего виброрейсмотора, поскольку энергия сейсмических волн от вибраторов, работающих со значительной несинхронностью, просто не будет суммироваться, а при небольшой несинхронности уменьшится как амплитуда, так и диапазон частот сейсмических сигналов, излучаемых группой вибраторов, и, следовательно, ухудшится разрешающая способность и эффективность сейсморазведки.

В процессе преобразования вибрационного сигнала из электрической в механическую форму и последующего формирования сейсмического сигнала в геологической среде возникают существенные искажения амплитуды и фазы сигнала, обусловленные рядом причин. Для компенсации фазовых искажений каждый вибратор имеет встроенную систему фазовой коррекции. Полностью исключить эти искажения, в принципе, невозможно, так как всегда остаются какие-то остаточные искажения фазы. Различные виды фазовых искажений по-разному влияют на коррелированный сейсмический материал, и до настоящего времени нет четкой оценки допустимой величины фазовых искажений сейсмического вибрационного сигнала в зависимости от их вида и от допустимой степени их влияния на геофизический материал. Нет и оценки допустимой величины несинхронности запуска, определяемой эффективностью работы всего виброрейсмотора.

Достоверность геофизических данных, получаемых в результате сейсморазведки, в значительной мере определяется стабильностью и компактностью корреляционного всплеска зондирующего вибрационного сигнала, а также отсутствием или наличием у него ложных дополнительных всплесков. Эти характеристики влияют не только на разрешающую способность сейсморазведки, но и на прослеживаемость отражающих горизонтов. Они могут быть причиной появления ложных горизонтов и потери истинных. Опытные полевые сейсморазведочные работы Центральной геофизической экспедиции (ЦГЭ, г. Москва, Российская федерация) и ПО "Западнефтегеофизика" (г. Гомель, Республика Беларусь) показали, что несинхронность вибраторов разрушает сейсмический материал. Для снижения влияния данного фактора на качество первичных полевых материалов сейсморазведки группой специалистов Гомельского специального конструкторского бюро сейсмической техники с участием автора были внедрены в сейсморазведочные комплексы принципиально новые решения.

Связь работы с крупными научными программами, темами. Работа выполнялась согласно приоритетным направлениям фундаментальных исследований Республики Беларусь: "Строение и эволюция земной коры и проблемы комплексного использования недр Беларуси" и "Генезис и закономерности размещения месторождений полезных ископаемых и прогнозная оценка минерально-сырьевых ресурсов Беларуси", а также в соответствии с Постановлением СМ СССР № 343 от 12. 04. 79 "Сейсморазведка полезных ископаемых", касающимся развития техники и технологии сейсморазведки полезных ископаемых на нефть и газ, и с общесоюзными планами по темам: № Гос. рег. 77025350 "Исследование взаимодействия поверхностных источников сейсмических сигналов с геологической средой" и № Гос. рег. 77065466 "Разработка агрегатного комплекса средств поверхностных источников сейсмических сигналов".

Цель и задачи исследования. Цель диссертационной работы заключается в повышении эффективности сейсморазведки за счет применения усовершенствованных систем фазовой коррекции и запуска сейсмических вибраторов, разработанных на основе исследований источников несинхронности и недостоверности запуска сейсмических вибраторов и влияния искажений фазы колебаний вибраторов на корреляционный сейсмический материал.

Поставленная цель была достигнута в настоящей работе путем решения следующих задач:

- проведения сравнительного анализа известных систем запуска и фазовой коррекции сейсмических вибраторов;
- определения влияния несинхронности запуска и несинфазности работы вибраторов на снижение эффективности сейсморазведки на нефть и газ;
- исследования основных источников несинхронности запуска и способов их уменьшения, определения видов расфазировки сейсмических вибраторов, наиболее опасных для геофизического материала;
- исследования зависимости достоверности запуска вибраторов от соотношения сигнал / шум и схемных особенностей системы запуска;
- разработки усовершенствованных систем запуска и коррекции фазы вибраторов, в которых учтены результаты анализа недостатков известных систем;
- обоснования высокой эффективности предложенных систем запуска и фазовой коррекции сейсмических вибраторов в результате проведения их испытаний.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования являются системы управления сейсмических вибраторов. Предмет исследования - системы запуска и системы фазовой коррекции сейсмических вибраторов.

Гипотеза. Предполагалось, что несинхронность вибраторов можно уменьшить за счет воздействия на них специальными корректирующими сигналами, для формирования которых использовать искажения корреляционных функций излучаемых сейсмических колебаний и изменения соотношения сигнал / шум на входе декодеров.

Методология и методы проведенного исследования. При разработке методики определения схемно—конструктивных решений усовершенствованных систем запуска и систем фазовой коррекции сейсмических вибраторов использовались методы теории информации, теории вероятности. Аналитические исследования, основанные на применении математических методов расчета параметров этих систем, выполнены с использованием общих методов анализа электронных схем, методов теории функций, методов вычислительной математики и прикладного программирования. Численный анализ производился на персональных компьютерах с помощью современных математических пакетов программ.

Научная новизна и значимость полученных результатов. Установлены основные источники несинхронности запуска вибраторов и их влияние на корреляционную функцию вибрационного сигнала.

Получены соотношения, связывающие параметры достоверности запуска вибраторов с числом разрядов и с порогами срабатывания схем предварительной синхронизации и схем контрольной проверки синхронизации.

Разработан новый адаптивный способ декодирования сигналов запуска сейсмических вибраторов, базирующийся на подстройке числа разрядов узлов декодера при изменении отношения сигнал / шум на его входе.

Установлены зависимости влияния на корреляционный сейсмический материал наиболее вероятных и опасных видов искажений фазы колебаний вибратора.

Разработан новый алгоритм работы системы фазовой коррекции сейсмического вибратора, основанный на подстройке параметров петли регулирования его фазы по результатам анализа корреляционной функции излучаемого вибрационного сигнала.

Полученные результаты способствуют повышению эффективности сейсмической разведки, благодаря уменьшению несинхронности запуска и несинфазности работы сейсмических вибраторов. Предложенные схемные реализации, методики их проектирования позволяют синтезировать систе-

мы запуска и фазовой коррекции вибраторов с повышенной надежностью и уменьшенными помехами на корреляционном сейсмическом материале.

*Практическая и экономическая значимость полученных результатов.*

*Практическая значимость* работы заключается в разработке новых инженерных методик, позволяющих проектировать системы запуска вибраторов с заданными параметрами достоверности и системы фазовой коррекции с меньшим влиянием искажений фазы колебаний на сейсмический материал, а также в предложении технических решений для усовершенствования известных систем запуска и фазовой коррекции вибраторов и в предложении новых схемных решений устройств запуска и фазовой коррекции вибраторов.

Основные результаты теоретических и экспериментальных исследований, полученные в работе, внедрены в Гомельском НПО "Сейсмотехника" государственного концерна "Белнефтехим" при разработке и создании вибраторов типов СВ-10/100, СВА-10/100, СВП-10/100 и СВ-20/60, и используются при чтении дисциплины "Электронные цепи дискретного действия" учебного плана студентов специальности Т 07.02.00 - "Промышленная электроника" в Гомельском государственном техническом университете им. П. О. Сухого.

*Экономическая значимость* работы заключается в повышении достоверности результатов сейсморазведки, что позволяет экономить значительные средства за счет исключения повторных геофизических исследований, а также благодаря сокращению бурения непродуктивных скважин.

*Основные положения диссертации, выносимые на защиту.* Автором защищаются:

1. Основные источники несинхронности запуска вибраторов и их влияние на корреляционную функцию вибрационного сигнала.
2. Соотношения, связывающие параметры достоверности запуска вибратора, - вероятности ложного срабатывания и неприема сигнала синхронизации, — с характеристиками комбинированного декодера этого сигнала, - с числом разрядов и с порогами срабатывания схем предварительной синхронизации и схем контрольной проверки синхронизации.
3. Новый адаптивный способ декодирования сигналов запуска сейсмических вибраторов, базирующийся на подстройке числа разрядов узлов декодера при изменении отношения сигнал/шум на его входе.
4. Новый алгоритм работы системы фазовой коррекции сейсмического вибратора, основанный на подстройке параметров петли регулирования его фазы по результатам анализа корреляционной функции излучаемого вибрационного сигнала.

5. Новые схемные решения устройств запуска и фазовой коррекции вибраторов.

Личный вклад соискателя. Научные и практические результаты диссертации, положения, выносимые на защиту, разработаны и получены лично соискателем или при его непосредственном участии.

Апробация результатов диссертации. Основные результаты исследований, содержащиеся в диссертации, докладывались, обсуждались и получили одобрение на:

- Всесоюзной научно-технической конференции "Вибросейсмические методы исследования" (г. Новосибирск, 1981 г.);
- VII научно-технической конференции профессорско - преподавательского состава Гомельского политехнического института, посвященной 25-летию института (Гомель, 1994 г.);
- международной научно-технической конференции "Современные проблемы машиноведения" (г. Гомель, 1998 г.);
- научно-практической конференции "Стратегия развития нефтедобывающей промышленности Республики Беларусь на 2000 - 2015 годы" (Гомель, 1999 г.).

Опубликованность результатов. Результаты диссертации опубликованы в одной статье в сборнике Сиб. отд-ния АН СССР, в двух статьях материалов конференций, в одних тезисах доклада, получено 22 авторских свидетельства на изобретения. Общее количество опубликованных материалов составляет 116 страниц.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, пяти глав, заключения, списка использованных источников, двух приложений. Полный объем составляет 227 страниц, при этом 63 рисунка, 4 таблицы, приложения и список использованных источников из 119 наименований занимают 90 страниц.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении рассмотрены требования к современным технологиям поиска нефти и газа с применением сейсмических вибраторов, обеспечивающих существенное повышение эффективности сейсморазведки и увеличение разведанных запасов нефти и газа при соблюдении требований охраны окружающей среды.

В общей характеристике работы обоснована актуальность темы, приведен перечень проблем, которые до сих пор оставались недостаточно изученными, сформулированы цель и задачи исследований.

В первой главе рассмотрены принципы построения систем управления электрогидравлических сейсмических вибраторов и приведен обзор научных публикаций и патентов по теме диссертации.

Как показано в первом разделе данной главы, разработка современных вибраторов направлена на получение максимальной энергии сейсмического сигнала в широкой полосе частот - от 5 до 250 Гц. Предполагалось, что несинхронность запуска вибраторов ограничивает максимальную частоту сейсмического сигнала, формируемого группой вибраторов, но ни в одной из рассмотренных в обзоре работ нет анализа такого ограничения, поэтому возникла необходимость определить зависимость между максимальной частотой сейсмического сигнала и ограничивающей ее несинхронностью, т. е. оценить величину допустимой несинхронности в зависимости от допустимого сужения частотного диапазона сейсмического сигнала.

Рассмотренные в обзоре источники по теме диссертации можно, в основном, разделить на два вида: одни, такие как патенты и паспорта-описывают конкретные устройства и декларируют их качества, но не приводят каких-либо доказательств, подтверждающих эти качества, другие - научные труды и учебники - приводят общий математический анализ свойств и параметров основных принципов приема и обработки сложных кодированных и модулированных сигналов. Отсутствие необходимых научных доказательств того, что известные устройства запуска и фазовой коррекции вибраторов, рассматриваемые в данной главе, имеют качества, описанные в цитируемых в обзоре источниках, заставил автора выполнить математический анализ известных систем, позволивший количественно оценить их свойства.

Эти пробелы в исследованиях систем синхронизации и фазовой коррекции сейсмических вибраторов потребовали проведения дополнительных исследований, которые реализованы в данной диссертации. Выполненный в первой главе аналитический обзор позволил сформулировать цель и задачи настоящих исследований, определить их структуру и рациональный объем.

Во второй главе проведен анализ допустимых искажений сейсмического сигнала, возникающих из-за несинхронной работы вибраторов в группе с накоплением при сейсморазведке нефти и газа.

Для этого автором был введен ряд понятий, косвенно определяющих качество сейсмического материала при разведке на нефть и газ, и, прежде всего, понятие о относительной амплитуде  $A_{ю}$  - амплитуде центрального всплеска коррелограммы при суммировании двух одинаковых по амплиту-



де коррелограмм с суммарной несинхронностью  $\Delta t$  относительно амплитуды суммы двух синхронных коррелограмм, равной:

$$A_{HO} = \frac{A_H}{2 A_0} = \cos 2\pi F_C \frac{\Delta t}{2}, \quad (1)$$

где  $A_H$  – амплитуда центрального всплеска функции корреляции при суммировании двух одинаковых по амплитуде коррелограмм с суммарной несинхронностью  $\Delta t$ ;  $A_0$  – амплитуда центрального всплеска корреляционной функции;  $F_C$  – средняя частота вибрационного сигнала.

Допустимую несинхронность  $\Delta t_{10}$  запуска вибраторов в зависимости от относительного уменьшения центрального всплеска корреляционной функции при суммировании двух коррелограмм с суммарной несинхронностью, равной  $\Delta t_{10}$ , можно определить из следующего выражения:

$$\Delta t_{10} = \frac{\text{Arc cos } A_{HO}}{2\pi F_C}. \quad (2)$$

Это выражение позволяет определить допустимую величину несинхронности  $\Delta t_{10}$  запуска вибратора в зависимости от относительного уменьшения амплитуды полезного сигнала, обусловленного этой несинхронностью.

Кроме относительной амплитуды  $A_{HO}$  вводится еще одна относительная величина  $F_{HO}$  – отношение средней частоты  $F_{CH}$  спектра сигнала, определяемой формой центрального всплеска суммы двух одинаковых по амплитуде коррелограмм с суммарной несинхронностью, равной  $\Delta t_{20}$ , к средней частоте  $F_C$  исходного сигнала, то есть:

$$F_{HO} = \frac{F_{CH}}{F_C}. \quad (3)$$

В результате исследований, выполненных во второй главе, автором впервые было получено аналитическое выражение, связывающее несинхронность  $\Delta t_{20}$  запуска вибратора и уменьшенную в результате этой несинхронности относительную среднюю частоту  $F_{HO}$  суммарного сигнала нормированную по отношению к средней частоте спектра исходного сигнала, в зависимости от максимальной  $F_{MAX}$  и минимальной  $F_{MIN}$  частот сигнала:

$$\Delta t_{20} \approx \frac{F_{MAX}}{\pi \cdot F_{MIN} \cdot (F_{MAX} + F_{MIN})} \cdot \sqrt{\frac{1}{F_{HO}} - 1}. \quad (4)$$

Практическую значимость полученных во второй главе научных результатов можно интерпретировать следующим образом. По данным НПО "Сейсмотехника", приведенных во введении диссертации, годовой экономический эффект от внедрения одного вибратора базовой модели СВ-10/100 составляет 55,1 тыс. рублей в стабильных ценах до 1991 г. Частичную потерю этого эффекта, вызванную несинхронностью запуска вибраторов, нетрудно подсчитать на следующем примере.

Допустим, средняя частота  $F_C$  свип – сигнала равна 100 Гц, а несинхронность  $\Delta t$  запуска достигает 1 мс, тогда согласно выражению (2) относительная амплитуда  $A_{HO}$  будет равна  $A_{HO} = 0,95$ , т. е. можно считать, что сейсмическая эффективность отряда вибраторов будет снижена на 5 %, а размер годового экономического эффекта уменьшится на 2,76 тысячи рублей в стабильных ценах до 1991 года или на 2,76 тысячи долларов США.

В третьей главе выполнен анализ основных источников несинхронности запуска вибраторов и даны предложения по их уменьшению. В данной главе описана структурная схема современного сейсморазведочного комплекса с применением вибраторов и цифровых сейсмостанций, связанных друг с другом по радиоканалу. В соответствии с этой схемой максимальная несинхронность  $\tau_{MAX}$  запуска вибратора разложена на следующие основные слагаемые, независимые друг от друга:

$$\tau_{MAX} \leq |\tau_{IC}| + |\tau_{IC}| + |\tau_{AB}| + |\tau_{IB}| + |\tau_{7B}| \quad (5)$$

где  $\tau_{IC}$  – составляющая, обусловленная накопленной за время  $T_Y$  одного сигнала  $y(t)$  запуска его фазовой погрешностью, возникающей из-за неточности  $\Delta f_Y$  частоты  $f_Y$  этого сигнала;  $\tau_{IC}$  – это нестабильность, разброс запаздывания, вносимого радиопередатчиком сейсмостанции при прохождении через него сигнала запуска;  $\tau_{AB}$  – составляющая, обусловленная запаздыванием сигнала запуска в радиоприемнике вибратора;  $\tau_{IB}$  – составляющая, обусловленная накопленной за время  $T_Z$  копии  $z(t)$  сигнала  $y(t)$  запуска, формируемой в декодере для сличения ее с принимаемым сигналом  $y(t)$ , фазовой погрешностью этой копии  $z(t)$ , возникающей из-за неточности  $\Delta f_Z$  частоты  $f_Z$  этой копии сигнала;  $\tau_{7B}$  – слагаемое несинхронности запуска, обусловленное числом  $m$  интервалов временной дискретизации периода  $T_{ПН}$  поднесущей частоты сигнала  $y(t)$  запуска при его демодуляции.

Как показано в данной главе, максимальная сумма составляющих несинхронности может достигать величины  $t_{max} = 930 \text{ мкс} = 1 \text{ мс}$ . Для уменьшения величины несинхронности запуска следует, в первую очередь, применять те средства, которые описаны в разделах данной главы, а именно:

- в качестве тактовых генераторов в кодере и в декодере применять высокостабильные генераторы с кварцевой стабилизацией частоты и термостатированием частотно-задающих элементов либо использовать в качестве тактовой частоту от термостатированного генератора, входящего в состав блока управления, поскольку стабилизация температуры элементов уменьшает относительную нестабильность частоты по сравнению с генераторами без термостата примерно на два порядка;

- подключать вход декодера непосредственно к выходному каскаду усилителя промежуточной частоты до детектора (демодулятора); при этом в состав декодера придется ввести свой детектор, построенный с учетом повышенных требований к стабильности вносимой детектором задержки;

- применять специальные радиостанции, предназначенные для передачи цифровых данных, хотя они и значительно дороже обычных связных радиостанций; возможно использование и дешевых связных радиостанций, но тогда требуется вводить в каналы синхронизации вибраторов устройства задержки, компенсирующие вышеописанный разброс запаздывания, которые следует периодически подстраивать с помощью средств, не вносящих разброса запаздывания, например, с помощью тех же упомянутых специальных радиостанций, предназначенных для передачи цифровых данных;

- применять многоступенчатый алгоритм декодирования сигнала запуска, смысл которого в том, что первоначальный "захват" должен происходить в схеме с минимально возможным числом отсчетов на период входного сигнала, а последующая стадия проверки правильности декодирования проходить с увеличением числа отсчетов на период; такой алгоритм декодирования позволяет иметь "грубую" по точности, но надежную в смысле помехоустойчивости, и не слишком громоздкую схему предварительного декодирования; за счет последующей проверки правильности синхронизации по оставшейся части  $M$  - последовательности обеспечивается требуемая высокая результирующая точность привязки момента пуска к входному сигналу запуска.

В соответствии с требованиями расширения частотного диапазона и функциональных возможностей, предъявляемыми к современным вибраторам, разработаны также устройства формирования линейных и нелиней-

ных свип-сигналов, обеспечивающих ослабление корреляционных шумов в вибрационной сейсморазведке, и имеющие повышенную надежность.

*В четвертой главе* проанализирована достоверность запуска, произведенного системой запуска, которую можно оценить с помощью двух параметров: вероятности  $p_l$  ложного срабатывания декодера вибратора в отсутствие запускающего сигнала и вероятности  $p_H$  неприема запускающего сигнала, смешанного с шумом.

В этой главе рассмотрены два известных принципа построения декодеров и несколько новых схемных реализаций декодеров, основанных на этих принципах и их комбинациях. Первый из известных принципов декодирования можно назвать принципом "захвата" декодером за какой-либо неискаженный фрагмент сигнала запуска, второй принцип обработки принимаемого декодером сигнала, называется корреляционным декодированием всего сигнала.

Разработанный с участием автора комбинированный способ декодирования, совмещающий принцип "захвата" и корреляционное декодирование, характеризуется вероятностью  $p_d$  ложного срабатывания от шума, описываемой полученным автором выражением:

$$p_{л} = p_{лз} \cdot p_{лк} = \left( 2^r - r - k3 - n2 \right) \cdot 0,5^r + k3 \cdot \sum_{i=k4}^{n2} C_{n2}^i \cdot 0,5^{n2}, \quad (6)$$

где  $p_{лз}$  - вероятность ложного "захвата" фрагмента сигнала первой ступенью декодера;  $p_{лк}$  - вероятность ложного результата контрольной проверки верности принимаемого сигнала второй корреляционной ступенью декодера при отсутствии сигнала на входе декодера;  $r$  - разрядность регистра сдвига, соответствующая первой части фрагмента сигнала;  $k3$  - порог срабатывания счетчика подряд идущих совпадений, соответствующий дополняющей до целого фрагмента второй проверочной части фрагмента сигнала, подтверждающей правильность захвата;  $n2$  - число символов, используемых для контрольной проверки;  $k4$  - порог срабатывания счетчика совпадений схемы контрольной проверки комбинированного декодера.

Вероятность  $p_H$  неприема запускающего сигнала комбинированным декодером определяется следующим выражением, полученным автором:

$$p_H = p_{Hз} + p_{HK} - p_{Hз} \cdot p_{HK} \approx p_{Hз} + p_{HK} =$$

$$= 1 - \left[ \sum_{i=1}^{\lfloor n1/r+k3 \rfloor} (-1)^{i-1} p_T^{i-1} (1-p_T)^{n1-ik} (C_{n1-ik}^{i-1} + p_T C_{n1-ik}^i) + \sum_{i=n2-k4+1}^{n2} p_T^i (1-p_T)^{n2-i} \right], \quad (7)$$

где  $P_{НЗ}$  – вероятность "незахвата" за фрагмент сигнала первой ступенью декодера;  $P_{НК}$  – вероятность ложной контрольной проверки правильности приема сигнала с помощью второй ступени декодера при наличии сигнала запуска на входе декодера;  $n_1$  – число символов в  $M$  – последовательности;  $k_3$  – порог срабатывания счетчика совпадений схемы захвата;  $[n_1/r+k_3]$  – целая часть дроби  $n/(r+k_3)$ ;  $p_T$  – вероятность трансформации (искажения, превращения из 0 в 1, или из 1 в 0) одного входного символа, обусловленная отношением сигнал / шум на входе декодера;  $n_2$  – число символов, используемых для контрольной проверки;  $k_4$  – порог срабатывания счетчика совпадений контрольной проверки комбинированного декодера.

В последнем выражении допущенное приближение действительно в случаях, когда слагаемые вероятности имеют значения, меньшие 0,1. Расчет с использованием приведенных выражений и известных формул, описывающих декодеры, основанные на захватном и корреляционном принципах декодирования, показывает, что для обеспечения вероятности ложного срабатывания  $p_{Л} \leq 1,45 \cdot 10^{-11}$  и вероятности неприема  $p_{Н} \leq 1,99 \cdot 10^{-3}$  при  $P_C / P_{Ш} = 1$ , декодер, основанный на захватном декодировании, должен использовать в качестве синхросигнала  $M$  – последовательность длиной в  $\sim 10^6$  символов, а комбинированный декодер при близких к указанным вероятностям значениям, – всего 2047 символов. Значит, при длительности одного символа 0,5 мс длительность сигнала синхронизации составит в первом случае 500 с, что при продолжительности одного цикла вибрационного воздействия порядка 30 с явно недопустимо, а для комбинированного декодера – лишь 1 с, что допустимо.

Недостатком корреляционного принципа декодирования синхросигнала является высокая частота, на которой производится сравнение, ведь оно должно производиться с тактовой частотой в  $m^2 n$  раз превышающей поднесущую частоту  $f_{ПН}$  (здесь  $m$  – число отсчетов за один период поднесущей частоты). Так, если поднесущая частота  $f_{ПН} = 2$  кГц, входная двоичная  $M$  – последовательность имеет длину в  $n = 2047$  символов, а число отсчетов за один период поднесущей частоты  $m = 8$ , то требуется тактовая частота сравнения  $f_{ТАКТ} \geq 256$  МГц и оперативная память емкостью  $mn \geq 16$  Кбит.

Столь высокая частота зачастую превышает предельно допустимые для микросхем памяти значения, а если и не превышает максимальную рабочую частоту микросхем, то их работа вблизи предела возможностей существенно снижает надежность работы декодера. Чтобы понизить тактовую частоту корреляционного декодера, можно использовать, например,

М – последовательность длиной в  $n = 256$  символов, но при этом декодер будет иметь низкую надежность при отношении сигнал / шум на входе декодера, близком к 1.

На рис. 1 приведены расчетные кривые вероятности  $p_H$  неприема синхросигнала для трех типов декодеров при вероятности ложного срабатывания каждого из них  $p_L \approx 10^{-16}$  и некоторые экспериментальные значения, проверяющие эти кривые.

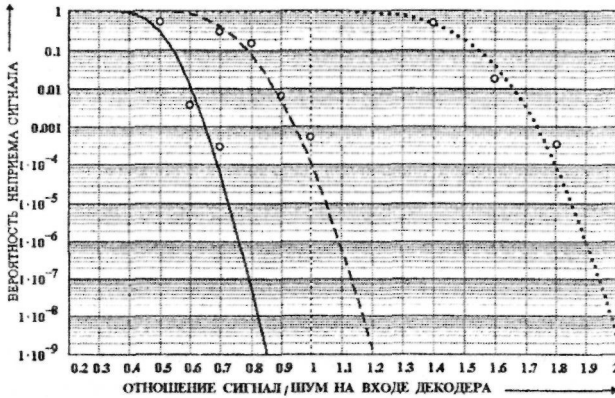


Рис. 1. Вероятность неприема синхросигнала декодерами трех типов:

- ..... декодер I типа (захватный),  $p_L = 10^{-16}$ ,  $n_1 = 2047$ ,  $r+k_3 = 64$ ;
- декодер II типа (корреляционный),  $p_L = 1,2 \cdot 10^{-16}$ ,  $n_1 = 255$ ,  $k_2 = 192$ ;
- декодер III типа (комбинированный),  $p_L = 1,16 \cdot 10^{-16}$ ,  $n_1 = 2047$ ,  $n_2 = 500$ ,  $r+k_3 = 13$ ,  $k_4 = 339$ ;
- o o o экспериментальные значения.

Экспериментальные значения, показанные на рис.1, имеют хорошее совпадение с расчетными кривыми, что подтверждает правильность выражений, использованных при расчетах. С учетом недостатков захватного и корреляционного принципов декодирования, очевидных из рис.1 и предыдущих выкладок, предлагается использовать комбинированный декодер, включающий в себя элементы захватного и корреляционного принципов декодирования.

Возможности такой перестройки параметров комбинированного декодера путем изменения разрядности его узлов показаны на рис. 2.

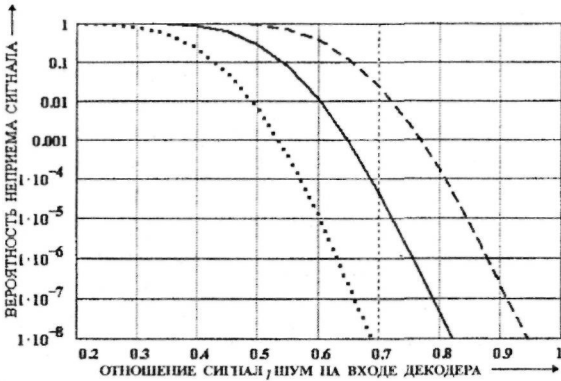


Рис. 2. Влияние числа разрядов узлов комбинированного декодера на его характеристики при  $n1 = 2047, n2 = 500$ :

.....  $r+k3 = 11, k4 = 320, p_{л} = 1,5 \cdot 10^{-10}$ ;  
 ———  $r+k3 = 13, k4 = 340, p_{л} = 5,4 \cdot 10^{-17}$ ;  
 - - - -  $r+k3 = 15, k4 = 360, p_{л} = 5,3 \cdot 10^{-25}$ .

При отношении сигнал / шум на входе декодера, значительно большем 1, в декодере должно обеспечиваться число разрядов узлов, соответствующее правой кривой, показанной на рис. 2 штриховой линией. Малая вероятность  $p_{л}$  ложного срабатывания, присущая данной кривой, позволит при этом работать с уверенностью, что не случится авария, связанная с ложным запуском вибратора.

Когда вибратор временно попадает в условия плохой радиосвязи и отношение сигнал / шум на входе декодера становится значительно меньше 1, надо, чтобы на это время узлы декодера переключились на разрядность, обуславливающую левую кривую, показанную на рис. 2 точечной линией. Сравнительно большая вероятность ложного срабатывания, присущая данной кривой, не позволяет долго работать в таком режиме, но зато, как видно из рис. 2, малая вероятность неприятия сигнала обеспечит надежный прием всех синхросигналов, поступающих от сейсмостанции. После устранения причин плохой связи надо вернуться к исходному или хотя бы к среднему состоянию, показанному на рис. 2 сплошной линией.

В пятой главе исследовано влияние некоторых видов расфазировки двух вибраторов на корреляционную функцию их суммарного сейсмического сигнала и в результате сделан вывод, что наиболее опасными видами несинфазности вибраторов являются периодические. Из-за таких фазовых искажений на кривой корреляционной функции возникают дополнитель-

ные всплески, относительная величина которых пропорциональна амплитуде расфазировки вибраторов, а задержка этих всплесков от центрального всплеска корреляционной функции пропорциональна частоте расфазировки вибраторов.

Как известно, максимумы боковых лепестков (так называемых "хвостов") корреляционной функции свип-сигнала, не имеющего сглаживания по краям, убывают при удалении по времени от центрального всплеска обратно пропорционально полосе частот сигнала и их временной задержке от центра, а при сглаживании краев сигнала эти "хвосты" убывают еще быстрее. Чтобы дополнительные всплески, обусловленные расфазировкой вибраторов не были заметны на корреляционных материалах, т. е. чтобы они не создавали ложных горизонтов (прослеживаемых границ сред в земле), необходимо, чтобы амплитуда этих всплесков была не больше, чем уровень шумов при приеме сейсмической информации. За исходный, отправной уровень этих шумов предлагается брать уровень естественных "хвостов" корреляционной функции свип-сигнала.

Для уменьшения влияния несинфазности вибраторов на сейсмический материал следует использовать предложенные в диссертации способы и устройства, в том числе предложенный в диссертации алгоритм работы системы фазовой коррекции сейсмического вибратора.

Этот алгоритм основан на измерении корреляционной функции излучаемого сигнала и сравнении ее с "хвостами" корреляционной функции опорного сигнала в определенных временных окнах, положение которых соответствует глубинам залегания наиболее важных для геофизиков отражающих горизонтов. При существенной разнице между этими функциями после проверки того, что эта разница обусловлена периодическим искажением фазы сигнала, излучаемого вибратором в соответствии с предложенным алгоритмом следует уменьшать, например, усиление в петле коррекции фазы вибратора, устраняя тем самым причины возникновения колебательного процесса регулирования фазы. Несмотря на то, что при этом понижается как точность, так и быстродействие коррекции фазы, главная цель сейсморазведки - обнаружение отражающих горизонтов на интересующих геофизиков глубинах - выполняется при таком алгоритме лучше, чем в известных системах.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В соответствии с поставленной целью для проверки выдвинутой гипотезы в диссертации получены следующие основные результаты:

1. Получены выражения связи между несинхронностью запуска вибраторов и амплитудой и частотным спектром центрального всплеска кор-



реляционной функции вибрационного свип - сигнала, позволяющие в результате оценить снижение эффективности сейсморазведки, которое обусловлено указанной несинхронностью запуска. Они позволяют установить требования к допустимой несинхронности запуска в зависимости от допустимых искажений корреляционных сейсмических данных и, соответственно, от допустимого снижения эффективности вибрационной сейсморазведки. На базе этих выражений разработаны усовершенствованные системы запуска и фазовой коррекции вибраторов [1, с.107-116].

2. Проведен анализ основных источников несинхронности запуска и по его результатам предложены способы их существенного уменьшения, заключающиеся, в частности, в следующем: в термостатировании частотно-задающих элементов тактовых генераторов с кварцевой стабилизацией частоты в кодере и в декодере; в подключении входа декодера непосредственно к выходному каскаду усилителя промежуточной частоты, до детектора радиостанции; применении для передачи синхросигналов радиостанций, предназначенных для передачи цифровых данных; во вводе в каналы синхронизации вибраторов устройств регулируемой задержки, компенсирующих разброс запаздывания в радиотракте; в применении многоступенчатого алгоритма декодирования сигнала запуска [2, с.155-156, 7,10, 24].

3. Исследованы зависимости параметров достоверности запуска вибраторов от соотношения сигнал / шум и схемных особенностей декодеров, и в результате предложены следующие методы повышения достоверности запуска: для декодера, основанного на принципе "захвата" за какой-либо фрагмент сигнала, использовать метод, основанный на дополнительной проверке "захвата"; для декодера, основанного на принципе корреляционной обработки сигнала, применять устройство, которое благодаря предварительной синхронизации позволяет уменьшить разрядность узлов этого декодера и сделать их практически реализуемыми в сейсморазведке; на базе двух вышеупомянутых принципов декодирования использовать комбинированный декодер, включающий в себя преимущества "захватного" и корреляционного принципов; для расширения возможностей комбинированного декодера использовать его при проверке бодрости оператора на приеме сложного звукового сигнала тревоги; для повышения надежности запуска всей группы вибраторов, привязке ее к надежности вибратора, "лучшего" из группы, передавать после опознавания этим вибратором сигнала запуска, оставшуюся часть сигнала для помощи остальным [3, с.205-216, 4, с. 47, 13, 15, 17, 23].

4. В соответствии с требованиями расширения частотного диапазона и функциональных возможностей, предъявляемыми к современным вибраторам, разработаны устройства формирования как линейных, так и нели-

нейных свип-сигналов, обеспечивающих ослабление корреляционных шумов в вибрационной сейсморазведке, и имеющие повышенную надежность [5,6,8,9, 12, 14, 16,18].

5. Установлены наиболее опасные для геофизических материалов виды расфазирования сейсмических вибраторов и разработаны методы борьбы с ними, в основном заключающиеся в следующем: в повышении точности системы фазовой коррекции сейсмического вибратора за счет введения адаптивного компенсатора уровня сигнала; в повышении быстродействия системы фазовой коррекции сейсмического вибратора благодаря применению последовательно соединенных синхронизатора и регистра памяти; в повышении синфазности работы вибраторов на низких частотах за счет введения в систему фазовой коррекции сейсмического вибратора датчика перемещения; в повышении точности и быстродействия системы фазовой коррекции сейсмического вибратора за счет уменьшения диапазона регулирования фазы путем введения устройства памяти предыдущих начальных фазовых сдвигов [11,20,22, 26].

6. Исходя из требований, предъявляемых к линейности и быстродействию электрогидравлических вибраторов со стороны системы их фазовой коррекции, разработаны методы и устройства, улучшающие эти параметры, состоящие в следующем: в повышении эффективности работы сейсмического вибратора за счет введения в него блока измерения амплитуды динамического усилия и регулятора статической подгрузки; в улучшении динамических характеристик электрогидравлического сейсмического вибратора за счет введения обратной связи по току электромеханического преобразователя; в повышении качества получаемого материала и улучшении прослеживаемости отражающих границ путем ограничения уровня нелинейных искажений при работе на максимальной мощности за счет введения датчика ускорения реактивной массы с вторым усилителем-интегратором, разностного усилителя, компаратора, масштабирующего элемента и усилителя с регулируемым коэффициентом усиления [19, 21, 25].

## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ СОИСКАТЕЛЯ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Шагинян А. С, Храброе Е. А. Принципы управления сейсмическими вибраторами // Вибросейсмические методы исследования: Сб. ст. /АН СССР. Сиб. отд-ние /Под ред. А.С. Алексеева. - Новосибирск, 1981.— С.107-116.

2. Шагинян А. С, Храбров Е. А. О допустимой несинхронности запуска сейсмических вибраторов // Современные проблемы машиноведения: Материалы межд. науч.-техн. конф.- Гомель: ГПИ, 1998.- Т.2. - С.155-156.

3. Храбров Е. А. О влиянии достоверности запуска сейсмических вибраторов на эффективность сейсморазведки на нефть и газ // Стратегия развития нефтедобывающей промышленности Республики Беларусь на 2000 - 2015 годы: Материалы науч.-практ. конф. ПО "Белоруснефть". - Гомель, 1999.- С.205-216.

4. Храбров Е. А. Устройство для контроля бодрости оператора //Тез. докл. VII науч.-техн. конф.- Гомель: ГПИ, 1994.- С. 47.

5. А. с. 601 816 СССР, МКИ<sup>2</sup> Н 03 к 7/08. Широотно-импульсный модулятор / А. С. Шагинян, В. А. Пантелеев, А. Г. Слободов, Е.А. Храбров (СССР).- № 2418346/18-21; Заявлено 02. 11. 76; Опубл. 05. 04. 78, Бюл. №13 // Открытия. Изобретения.-1978.-№ 13.- С. 142.

6. А. с. 664 290 СССР, МКИ<sup>2</sup> Н 03 к 7/08. Широотно-импульсный модулятор / В. А. Пантелеев, Е. А. Храбров, А. Г. Слободов (СССР).- №2573316/18-21; Заявлено 30. 01. 78; Опубл. 25. 05. 79, Бюл. № 19 // Открытия. Изобретения.-1979.-№ 19.-С. 127.

7. А. с. 693 291 СССР, МКИ<sup>2</sup> G 01 v 1/04. Устройство управления импульсным гидравлическим источником сейсмических сигналов /А.С.Шагинян, А. Г. Асан-Джалалов, А. М. Седин, В. А. Пантелеев и Е.А. Храбров (СССР).- № 2515595 / 18-25; Заявлено 10. 08. 77; Опубл. 25. 10. 79, Бюл. № 39 // Открытия. Изобретения.-1979.-№ 39.- С. 85.

8. А. с. 744 939 СССР, МКИ<sup>2</sup> Н 03 к 4/06. Формирователь линейно-изменяющегося напряжения /В.А. Пантелеев, В.В. Циммерман, Е.А. Храбров (СССР).- № 2697514/18-21; Заявлено 18. 12. 78; Опубл. 30. 06. 80, Бюл. № 24 // Открытия. Изобретения.-1980.-№ 24.- С. 113.

9. А. с. 750 708 СССР, МКИ<sup>3</sup> Н 03 к 3/80. Цифровой генератор инфранизкой частоты / В. А. Пантелеев, Е.А. Храбров, А. Г. Слободов (СССР).- № 2611882.18-21; Заявлено 10. 05. 78; Опубл. 23. 07. 80, Бюл. №27//Открытия. Изобретения.-1980.-№27-С. 104.

10.А. с. 781 731 СССР, МКИ<sup>3</sup> G 01 v 1 / 24. Устройство управления источником сейсмических волн / А. С. Шагинян, А. Г. Асан-Джалалов, В. А. Пантелеев, Е.А. Храбров и Н.И. Давиденко (СССР).- № 2647937/26-25; Заявлено 21. 06. 78; Опубл. 23. 11. 80, Бюл. № 43// Открытия. Изобретения.-1980.-№43.-С. 76.

11.А. с. 802 883 СССР, МКИ<sup>3</sup> G 01 v 1 / 04. Система управления вибрационным источником сейсмических сигналов / А. С. Шагинян, А. Г. Асан-Джалалов, В. А. Пантелеев, Е.А. Храбров (СССР).- № 2644443/18-

25; Заявлено 12. 07. 78; Оpubл. 07. 02. 81, Бюл. № 5 // Открытия. Изобретения.-1981.-№ 5.-С. 83.

12. А. с. 873 404 СССР, МКИ<sup>3</sup> Н 03 к 13 / 02. Генератор гармонического сигнала / В. А. Пантелеев, Е.А. Храбров, А. Г. Слободов (СССР).- №2855783/18-21; Заявлено 19. 12. 79; Оpubл. 15. 10. 81, Бюл. № 38 // Открытия. Изобретения.- 1981.-№ 38.- С. 74.

13. А. с. 913 298 СССР, МКИ<sup>3</sup> G 01 v 1 / 04. Устройство синхронизации источников сейсмических сигналов / В. А. Пантелеев, Е.А. Храбров, А. Г. Слободов, А. С. Быков и Н. М. Кобин (СССР).- № 2949867/18-25 02; Заявлено 07. 80; Оpubл. 15. 03. 82, Бюл. № 10 // Открытия. Изобретения.- 1982.-№ 10.- С. 106.

14. А. с. 930 643 СССР, МКИ<sup>3</sup> Н 03 к 7/08. Широотно-импульсный модулятор / В. А. Пантелеев, Е.А. Храбров, А. Г. Слободов (СССР).- №2822753/18-21; Заявлено 02. 10. 79; Оpubл. 23. 05. 82, Бюл. № 19 //Открытия. Изобретения.-1982.-№ 19-С. 86.

15. А. с. 949 577 СССР, МКИ<sup>3</sup> G 01 v 1 / 04. Устройство управления источником сейсмических волн / А. С. Шагинян, А. Г. Асан-Джалалов, В. А. Пантелеев, Е.А. Храбров, Н. И. Давиденко и В. Н. Кабишев (СССР).- № 2669035/18-25; Заявлено 28. 09. 78; Оpubл. 07. 08. 82, Бюл. № 29 //Открытия. Изобретения.- 1983.-№ 29.- С. 92.

16. А. с. 949 579 СССР, МКИ<sup>3</sup> G 01 v 1 / 04. Генератор сигналов управления сейсмическими вибраторами / А. С. Шагинян, А. Г. Асан-Джалалов, А. М. Седин, В. А. Пантелеев и Е.А. Храбров (СССР).- №3237522/18-25; Заявлено 12. 01. 81; Оpubл. 07. 08. 82, Бюл. № 29 //Открытия. Изобретения.-1982.-№ 29.- С. 93.

17. А. с. 972 428 СССР, МКИ<sup>3</sup> G 01 v 1 / 04 // Н 04 L 7 / 02. Устройство синхронизации источников сейсмических сигналов / А. С. Шагинян, А. Г. Асан-Джалалов, В. А. Пантелеев, Е.А. Храбров и А. С. Быков (СССР).- № 3291253/18-25; Заявлено 06. 05. 81; Оpubл. 07. 11. 82, Бюл. №41 // Открытия. Изобретения.-1982.-№ 41.- С. 85.

18. А. с. 976 484 СССР, МКИ<sup>3</sup> Н 03 к 5/156 // Н 03 к 13/02. Генератор гармонического сигнала / В. А. Пантелеев, Е.А. Храбров, А. Г. Слободов, А. С. Быков и А. Е. Шеломанов (СССР).- № 3284514/18-21; Заявлено 06.05.81; Оpubл. 23. 11. 82, Бюл. № 43 // Открытия. Изобретения.-1982.-№43.-С. 130.

19. А. с. 996 966 СССР, МКИ<sup>3</sup> G 01 v 1 / 02. Источник сейсмических сигналов / А. С. Шагинян, А. Г. Асан-Джалалов, А. А. Певнев, В. А. Пантелеев, А. В. Суворов и Е.А. Храбров (СССР).- № 3270970/18-25; Заявлено 08. 04. 81; Оpubл. 15. 02. 83, Бюл. № 6 // Открытия. Изобретения.- 1983.-№6.-С. 89.

20. А. с. 1 010 582 СССР, МКИ<sup>3</sup> G 01 v 1 / 37. Сейсмический вибратор / А. С. Шагинян, А. Г. Асан-Джалалов, В. А. Пантелеев, Е.А. Храброе и А. Г. Слободов (СССР).-№ 3294070/18-25; Заявлено 15. 05. 81; Оpubл. 07. 04. 83, Бюл. № 13 // Открытия. Изобретения.-1983. -№ 13.- С. 163.

21. А. с. 1 019 119 СССР, МКИ<sup>3</sup> F 15 b 9/03. Электрогидравлическая следящая система / А. С. Шагинян, А. Г. Асан-Джалалов, В. А. Пантелеев, Е.А. Храброе и А. Г. Слободов (СССР).- № 3355793/25-06; Заявлено 04.11.81; Оpubл. 23. 05. 83, Бюл. № 19 // Открытия. Изобретения.-1983.- №19.-С. 89.

22. А. с. 1 084 762 СССР, МКИ<sup>3</sup> G 05 d 19 / 02. Устройство для управления сейсмическим вибратором / А. С. Шагинян, А. Г. Асан-Джалалов, В. А. Пантелеев, Е.А. Храброе и А. Г. Слободов (СССР).- №3445402/18-24; Заявлено 25. 05. 82; Оpubл. 07. 04. 84, Бюл. № 13 //Открытия. Изобретения.-1984.-№ 13.- С. 113.

23. А. с. 1 103 168 СССР, МКИ<sup>3</sup> G 01 v 1 / 13. Устройство синхронизации источников сейсмических сигналов / В. А. Пантелеев, Н. И. Давиденко, Е.А. Храбров, А. С. Быков (СССР).- № 2743509/18-25; Заявлено 28.03.79; Оpubл. 15. 07. 84, Бюл. № 26 // Открытия. Изобретения.-1984.- №26.- С. 96.

24. А. с. 1 105 839 СССР, МКИ<sup>3</sup> G 01 v 1 / 04. Устройство синхронизации источников сейсмических сигналов / В. А. Пантелеев, Е.А. Храбров, А.С. Быков (СССР).-№ 2949868/18-25; Заявлено 02.07.80; Оpubл. 30.07.84, Бюл. № 28 // Открытия. Изобретения.- 1984.-№ 28.- С. 105.

25. А. с. 1 163 289 СССР, МКИ<sup>4</sup> G 01 v 1 / 00. Способ управления амплитудой выходного сигнала вибрационного источника сейсмических сигналов и устройство для его осуществления / А. С. Шагинян, А. Г. Асан-Джалалов, В. А. Пантелеев, Е.А. Храбров (СССР).- № 3626918/24-25; Заявлено 25. 07. 83; Оpubл. 23. 06. 85, Бюл. № 23 // Открытия. Изобретения.- 1985.-№23.-С. 94.

26. А. с. 1 236 399 СССР, МКИ<sup>4</sup> G 01 v 1 / 37. Сейсмический вибратор / А. С. Шагинян, А. Г. Асан-Джалалов, В. А. Пантелеев, Н.И. Давиденко, Е.А. Храбров и А. Г. Слободов (СССР).-№ 3821814/24-25; Заявлено 06. 12. 84; Оpubл. 07. 06. 86, Бюл. № 21 // Открытия. Изобретения.- 1986.-№21.-С. 76.

## РЕЗЮМЕ

Храбров Евгений Александрович

Разработка систем группового запуска и синхронизации сейсмических вибраторов при разведке нефти и газа

Нефтяной пласт, сейсмический вибратор, корреляция, запуск, допустимая несинхронность, декодер, двоичная последовательность, фазовая коррекция, искажения коррелированных сейсмических материалов.

Объект исследования - системы управления сейсмических вибраторов.

Предмет исследования - системы запуска и фазовой коррекции вибраторов.

Цель диссертационной работы заключается в повышении эффективности сейсморазведки за счет применения усовершенствованных систем запуска и фазовой коррекции сейсмических вибраторов, разработанных на основе исследований источников несинхронности и недостоверности запуска сейсмических вибраторов и влияния искажений фазы колебаний вибраторов на корреляционный сейсмический материал.

Применялась комплексная методика исследований, основанная на применении методов анализа электронных схем, теории функций, теории вероятности, экспериментальных исследованиях, проведенных на предприятиях.

Научная и практическая значимость полученных результатов состоит в том, что:

- установлены основные источники несинхронности запуска вибраторов и их влияние на корреляционную функцию вибрационного сигнала, получены соотношения, связывающие параметры достоверности запуска вибраторов с числом разрядов декодеров;
- разработан новый адаптивный способ декодирования сигналов запуска сейсмических вибраторов, базирующийся на подстройке числа разрядов узлов декодера при изменении отношения сигнал/шум на его входе;
- разработан новый алгоритм работы системы фазовой коррекции сейсмического вибратора, основанный на подстройке параметров петли регулирования его фазы по результатам анализа корреляционной функции излучаемого вибрационного сигнала.

Результаты исследования использованы в Гомельском НПО "Сейсмотехника" государственного концерна "Белнефтехим" при проектировании и создании систем управления сейсмических вибраторов.

Область применения - организации и предприятия, занимающиеся проектированием, изготовлением и эксплуатацией различных источников сейсмических сигналов.

## РЭЗІЮМЕ

Храброў Яугеній Аляксандравіч

Распрацоўка сістэм групавага запуску і сінхранізацыі сейсмічных вібратораў пры разведцы нафты і газу

Нафтавы пласт, сейсмічны вібратар, карэляцыя, запуск, дапушчальная несінхроннасць, дэкодэр, дваічная паслядоўнасць, фазавая карэкцыя, скажэнне карэліраваных сейсмічных матэрыялаў.

Аб'ект даследавання - сістэмы кіравання сейсмічных вібратораў.

Прадмет даследавання - сістэмы запуску і фазавай карэкцыі вібратораў.

Мэта дысертацыйнай работы заключаецца ў павышэнні эфектыўнасці сейсмаразведкі за кошт прымянення ўдасканаленых сістэм запуску і фазавай карэкцыі сейсмічных вібратораў, распрацаваных на аснове даследаванняў крыніц несінхроннасці і неверагоднасці запуску сейсмічных вібратораў і уплыву скажэнняў фазы хістанняў вібратораў на карэляцыйны сейсмічны матэрыял.

Прымянялася комплексная методка даследаванняў, заснаваная на ўжыванні метадаў аналізу электронных схем, тэорыі функцый, тэорыі верагоднасці, эксперыментальных даследваннях, праведзенных на прадпрыемствах.

Навуковая і практычная значнасць атрыманых рэзультатаў заключаецца ў тым, што:

- устаноўлены асноўныя крыніцы несінхроннасці запуску вібратораў і іх уплыў на карэляцыйную функцыю вібрацыйнага сігнала, атрыманы суадносіны, якія звязваюць параметры верагоднасці запуску вібратораў з колькасцю разрадаў дэкодэраў;

- распрацаваны новы адаптыўны спосаб дэкадзіравання сігналаў запуску сейсмічных вібратораў, які базіруецца на падстройцы колькасці разрадаў вузлаў дэкодэра пры змяненні адносін сігнал / шум на яго ўваходзе;

- распрацаваны новы алгарытм работы сістэмы фазавай карэкцыі сейсмічнага вібратора, заснаваны на падстройцы параметраў пятлі рэгулявання яго фазы па выніках аналізу карэляцыйнай функцыі выпрамняемага вібрацыйнага сігнала.

Рэзультаты даследавання выкарыстаны ў Гомельскім НВА "Сейсма-тэхніка" дзяржаўнага канцэрна "Белнафтахім" пры практаванні і стварэнні сістэм кіравання сейсмічных вібратораў.

Гапіна прымянення - арганізацыі і прадпрыемствы, якія займаюцца праектаваннем, вырабам і эксплуатацыяй розных крыніц сейсмічных сігналаў.

## SUMMARY

Khrabrov Evgeny Alexandrovich

Development of vibrator group starting and synchronizing systems  
for oil and gas surveying.

Oil pool, seismic vibrator, correlation, starting, asynchronism tolerances, decoder, binary sequence, phase correction, correlated seismic data distortion.

Object of research - seismic vibrator control systems.

Subject of research - starting and phase correction systems of vibrators.

The aim of the thesis is to increase the efficiency of seismic surveying on the account of improved systems of starting and phase correction of seismic vibrators developed on the basis of investigations of sources of seismic vibrators' asynchronism, false or no starting and the influence of vibrator phase distortions on correlated seismic data.

The complex procedure of research based on electronic circuitry analysis, function theory, probability theory, and commercial experimental research was applied in the research.

Scientific and commercial significance of the results obtained:

- the main sources of vibrators' starting asynchronism and their influence on the vibration signal correlation function were defined and the relationship between parameters of the truth vibrator startings and decoder bit number was evaluated;

- new adaptive method of decoding of seismic vibrator starting signals based on fine adjustment of decoder bit number in the case of a change of input signal/noise relation was developed;

- new algorithm of a seismic vibrator phase correction system based on fine adjustment of its phase control loop parameters in accordance with the vibrator-generated signal correlation function analysis was developed.

The developments were introduced into practice at the Gomel scientific-production Amalgamation "Seimotekhnica" of "Belneftekhim" State Concern for designing and production of seismic vibrators' control systems.

The results of the research will find their application at the institutions and enterprises dealing with design, production and exploitation of various seismic signal sources.



Храброе Евгений Александрович

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМ ГРУППОВОГО ЗАПУСКА И  
СИНХРОНИЗАЦИИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВИБРАТОРОВ  
ПРИ РАЗВЕДКЕ НЕФТИ И ГАЗА**

05.09.03 - Электротехнические комплексы и системы,  
включая их управление и регулирование

Автореферат диссертации на соискание ученой  
степени кандидата технических наук

---

Редактор Л. Ф. Теплякова

Подписано в печать 19.11.99.

Формат 60x84/<sub>16</sub> Гарнитура «Таймс».

Усл. печ.л. 1,39. Уч.-изд. л. 1.

Тираж 120 экз. Заказ № 260.

Отпечатано на ризографе ГГТУ им. П. О. Сухого, г. Гомель,  
пр. Октября, 48. Лицензия ЛП № 114 от 19.12.97.

Лицензия ЛВ № 399 от 14.07.99.